



TUGAS AKHIR - TE 141599

Desain Dan Implementasi MPPT Dengan Kontrol Logika Fuzzy Untuk Aplikasi Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya

Fahad Al Hazmi
NRP 2213100095

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D

Departemen TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



Final Project - TE 141599

**Design and Implementation of MPPT with Fuzzy
Logic Control for Solar Unmanned Aerial Vehicle**

Fahad Al Hazmi
NRP 2213100095

Advisor

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D

Electrical Engineering Department
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Desain Dan Implementasi MPPT Dengan Kontrol Logika Fuzzy Untuk Aplikasi Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2017



Fahad Al Hazmi
NRP. 2213100095

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MPPT DENGAN KONTROL
LOGIKA FUZZY UNTUK APLIKASI PESAWAT TANPA AWAK
TENAGA SURYA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

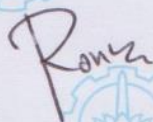
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

NIP : 198006032006041003



Ronny Mardivanto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP : 198101182003121003



Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN IMPLEMENTASI MPPT DENGAN KONTROL LOGIKA FUZZY UNTUK APLIKASI PESAWAT TANPA AWAK TENAGA SURYA

Nama : Fahad Al Hazmi
NRP : 2213100095
Dosen Pembimbing 1 : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Dengan mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik, sel surya merupakan teknologi energi terbarukan yang melimpah dan rendah emisi. Sel surya dapat mengurangi emisi gas buang kendaraan konvensional sebesar 92%. Panel surya memiliki peluang yang besar untuk diaplikasikan pada alat alat terbang seperti pesawat tanpa awak. Sayangnya, panel surya adalah sumber energi non linier yang daya outputnya berubah bergantung pada iradiansi dan temperatur sekitar. Jika dioperasikan pada keadaan normal maka daya dari panel surya tidak akan bisa diserap secara optimal dikarenakan kurva karakteristik dari panel surya. Agar daya yang disalurkan dari panel surya maksimal, diperlukan *Maximum Power Point Tracking*, yaitu sebuah metode optimalisasi daya dengan mengkondisikan tegangan output dari panel surya. Pada pesawat tanpa awak, iradiansi matahari nilainya berubah dengan sangat cepat, sehingga MPPT konvensional kurang efisien untuk digunakan, dikarenakan memiliki respon yang lambat serta memiliki osilasi pada saat berada di daya maksimal. Pada penelitian ini akan dirancang dan diimplementasikan sistem MPPT dengan kontrol logika fuzzy. Kontrol logika fuzzy dapat mempercepat respon sistem terhadap perubahan beban, serta mengurangi osilasi yang terjadi pada daya maksimum. Konverter, sebagai aktuator dari pengkondisi tegangan akan dipilih yang memiliki berat seringan mungkin sehingga tidak akan menambah beban kerja dari pesawat. Dari implementasi yang telah dilakukan didapatkan MPPT Fuzzy memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari MPPT Hill Climbing.

Kata Kunci: MPPT, *Fuzzy Logic*, *Solar UAV*, *Buck Converter*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MPPT WITH FUZZY LOGIC CONTROL FOR SOLAR UNMANNED AERIAL VEHICLE

Name : Fahad Al Hazmi
NRP : 2213100095
Counsellor Lecturer 1 : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
Counsellor Lecturer 2 : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Solar panel is a technology that convert solar energy into electrical energy directly, this technology has an abundant resource and environment friendly. Solar panel technology if utilized throughly could reduce emmision from combustion machine up to 92%. This technology has a great potential for powering in flying devices like Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Solar panel is non linear energy which power output varied according to irradiance and surrounding temperature. If solar panel connected directly to load, power generated cannot be maximum, because of solar panel characteristic curve. To optimize the power Maximum Power Point Tracker (MPPT) is necessary. MPPT is a method which optimize the power by controlling current flowing from solar panel. In UAV irradiance change quickly so conventional MPPT is not efficient because it needs lot of time to track the maximum power and hen the system oscilate when reach MPP. In this research MPPT with Fuzzy logic control will be designed and implemented. Fuzzy logic control can increase tracking time and also reduce system oscillation in MPP. Converter which is actuator of MPPT will be designed to have small dimension as possible that will reduce aircraft load. Based on experiment its proven that Fuzzy Logic Control MPPT has higher efficiency than Hill Climbing MPPT.

Keyword: MPPT, Fuzzy Logic, Solar UAV, Buck Converter

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa saya panjatkan kehadirat Allah 'Azza Wa Jalla. Karena atas limpahan barokah,rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul **“Desain Dan Implementasi MPPT Dengan Kontrol Logika Fuzzy Untuk Aplikasi Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya”**. Buku ini saya persembahkan khususnya untuk keluarga saya dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya. “Man jadda wa jada”. Barang siapa bersungguh-sungguh, maka dia akan mendapatkan. Penulisan buku penelitian ini dilakukan dengan penuh semangat dan kesungguhan, namun saya menyadari bahwa buku penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan buku-buku penelitian selanjutnya.

Selama pengerjaan penelitian ini banyak pihak-pihak yang membantu baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan penelitian ini dan tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu saya dan ayah saya, serta adik saya yang sellau setia mamotivasi
2. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Rony Mardianto, S.T., M.T. Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi yang setiap hari menemani
4. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2017

Fahad Al Hazmi

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
TABLE OF CONTENTS	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Relevansi	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya	5
2.1 Permodelan Panel Surya	6
2.2 Buck Converter	10
2.3 Maximum Power Point Tracking(MPPT)	12
2.4 Metode Hill Climbing	14
2.5 Fuzzy Logic Control	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Desain Buck Converter	17
3.2 Desain kontrol logika Fuzzy	19
3.3 Simulasi	22

3.3.1 MPPT Dengan Irradians Berubah Ubah.....	24
3.3.2 MPPT Dengan Arus Beban Berubah	28
3.4 Implementasi	34
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA	39
4.1 Pengujian Rangkaian Buck Converter	39
4.2 Pengujian Sensor	40
4.3 Kurva Karakteristik Panel Surya	41
4.4 Pengujian MPPT dengan Irradians berubah.....	42
4.5 Pengujian MPPT dengan Perubahan Arus Beban.....	46
4.6 Perbandingan Antara Simulasi Dan Implementasi	50
4.7 Respon MPPT Terhadap Berbagai Resistansi Beban	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN.....	61
BIOGRAFI.....	69

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT(IND)	i
ABSTRACT(ENG)	ii
PREFACE	v
TABLE OF CONTENTS(IND)	viii
TABLE OF CONTENTS(ENG)	ix
TABLE OF FIGURES	xi
TABLES	xiii
BAB I INTRODUCTION	1
1.1 Background Problem.....	1
1.2 Problems	2
1.3 Objectives.....	2
1.4 Limitations	3
1.5 Methodology	3
1.6 Relevansce	4
1.7 Writing Systematics	4
BAB II LITERATURE STUDY	5
2.1 Solar Unmaned Aerial Vehicle	5
2.1 Solar Panel Modelling	6
2.2 Buck Converter	10
2.3 Maximum Power Point Tracking(MPPT).....	12
2.4 Hill Climbing Method.....	14
2.5 Fuzzy Logic Control	15
BAB III METHODOLOGY	17
3.1 Buck Converter Design.....	17
3.2 Fuzzy Logic Control Design	19
3.3 Simulation.....	22

3.3.1 Variable Irradiance MPPT	24
3.3.2 Variable Load Current MPPT	28
3.4 Implementation.....	34
BAB IV RESULT AND ANALYSIS	39
4.1 Buck Converter Evaluation.....	39
4.2 Sensors Evaluation.....	40
4.3 Solar Panel Characteristics Curve	41
4.4 Evaluation of MPPT in Varied Irradiance	42
4.5 Evaluation of MPPT in Varied Load Current	46
4.6 Comparison of Both Method	50
4.7 MPPT Response for Varied Load Current	51
BAB V CONCLUSION	56
REFERENCE.....	59
ENCLOSURE	61
BIOGRAPHY.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Topologi Sistem Kelistrikan Solar UAV	5
Gambar 2.2. Pola Manajemen Energi Solar UAV [2].....	6
Gambar 2.3. Pemodelan Panel Surya	7
Gambar 2.4. Kurva Karakteristik Panel Surya [3]	9
Gambar 2.5 Karakteristik Panel Surya Terhadap Iradiansi Dan Suhu [3]	9
Gambar 2.6. Rangkaian Konverter <i>Buck</i>	10
Gambar 2.7. Mode Saklar ON.....	11
Gambar 2.8. Mode saklar off	11
Gambar 2.9. Maximum Power Point Pada Panel Surya	13
Gambar 2.10. Arsitektur Sistem MPPT	13
Gambar 2.11. Flowchart Metode Hill Climbing	14
Gambar 2.12. Klasifikasi Fungsi Keanggotaan pada Fuzzy.....	15
Gambar 3.1. Desain Buck Converter	17
Gambar 3.2. Prinsip Kerja Kontrol Logika Fuzzy	20
Gambar 3.3. Fungsi Keanggotaan Perubahan Daya Error! Bookmark not defined.	
Gambar 3.4. Fungsi Keanggotaan <i>Error</i>	21
Gambar 3.5. Fungsi Keanggotaan Perubahan Arus	
Gambar 3.6. Fungsi Keanggotaan Perubahan <i>Error</i>	21
Gambar 3.7. Fungsi Keanggotaan Perubahan Duty Cycle	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.8. Fungsi Keanggotaan perubahan <i>Duty Cycle</i>	21
Gambar 3.9. Rangkaian MPPT	23
Gambar 3.10. Kontrol MPPT Hill Climbing	23
Gambar 3.11. Kontrol MPPT Fuzzy Logic	23
Gambar 3.12. Grafik Perubahan Iradiansi Simulasi	24
Gambar 3.13. Tracking Daya MPPT Hill Climbing (Simulasi)	24
Gambar 3.14. Tracking Daya MPPT Fuzzy (Simulasi)	25
Gambar 3.15. Duty Cycle MPPT Hill Climbing.....	26
Gambar 3.16. Tegangan Panel Surya MPPT Hill Climbing	26
Gambar 3.17. Duty Cycle MPPT Fuzzy	27
Gambar 3.18. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy	27
Gambar 3.19. Rangkaian Simulasi Perubahan Arus Beban	28
Gambar 3.20. Perubahan Torsi Beban	28
Gambar 3.21 Tracking Daya MPPT Hill Climbing	29
Gambar 3.22. Tracking Daya MPPT Fuzzy	30
Gambar 3.23. Duty Cycle MPPT Hill Climbing	31

Gambar 3.24. Tegangan Panel Surya MPPT Hill Climbing	31
Gambar 3.25. Duty Cycle MPPT Fuzzy	32
Gambar 3.26. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy	32
Gambar 3.27. Grafik Kecepatan Motor	33
Gambar 3.28. Perbandingan Daya Panel surya dan Motor	33
Gambar 3.29. Blok Diagram MPPT	34
Gambar 3.30 Sensor Arus ACS 712	35
Gambar 3.31. Rangkaian Sensor Tegangan	35
Gambar 3.32. Pengujian Panel Surya	37
Gambar 3.33. Rangkaian Pengujian	37
Gambar 3.34. Rangkaian Buck Converter	38
Gambar 3.35 Panel Surya Sebagai Pengukur Iradians	38
Gambar 4.1. Hasil Switching pada komponen Buck Converter	39
Gambar 4.2. Kurva Karakteristik I dan V Panel Surya	41
Gambar 4.3. Kurva Karakteristik P dan V Panel Surya	41
Gambar 4.4. Perubahan Iradians Pada Implementasi	42
Gambar 4.5. Tracking Daya MPPT Hill Climbing	43
Gambar 4.6. Tracking Daya MPPT Fuzzy	43
Gambar 4.7. Duty Cycle MPPT Hill Climbing	44
Gambar 4.8. Tegangan Panel Surya Hill Climbing	44
Gambar 4.9. Duty Cycle MPPT Fuzzy	45
Gambar 4.10. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy	46
Gambar 4.11. Perubahan Resistansi saat Pengujian	46
Gambar 4.12. Tracking Daya MPPT Hill Climbing	47
Gambar 4.13. Tracking Daya MPPT Fuzzy	47
Gambar 4.14. Duty Cycle MPPT hill Climbing	48
Gambar 4.15. Tegangan Panel Surya MPPT Hill Climbing	49
Gambar 4.16. Duty Cycle MPPT Fuzzy	49
Gambar 4.17. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy	50
Gambar 4.18. Perubahan Resistansi Beban	51
Gambar 4.19. Perubahan Arus Beban	51
Gambar 4.20. Perubahan Tegangan Beban	52
Gambar 4.21. Grafik Daya MPPT pada setiap Resistansi	52
Gambar 4.22. Perubahan tegangan Panel Surya	53
Gambar 4.23. Perubahan Duty Cycle Pada Setiap Resistansi	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Parameter Rangkaian Buck.....	17
Tabel 3.2	Rule Kontrol Logika Fuzzy	22
Tabel 3.3	Komponen MPPT Fuzzy	36
Tabel 3.4	Spesifikasi Panel Surya.....	36
Tabel 4.1	Pengujian Sensor	40
Tabel 4.2	Perbandingan Simulasi dan Implementasi	50

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini penelitian dan penggunaan sel surya marak digalakkan. Panel surya menjadi pusat perhatian dikarenakan dipercaya panel surya merupakan sumber energi yang bersih dan melimpah. Dengan mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik, sel surya merupakan sumber energi terbarukan dan rendah emisi. Sel surya dapat mengurangi emisi gas buang kendaraan konvensional sebesar 92% [1]. Sayangnya, panel surya adalah sumber energi non linier yang daya outputnya berubah bergantung pada iradiansi dan temperatur sekitar. Untuk memanfaatkan daya panel dengan maksimal, tegangan dari panel surya harus dikondisikan karena sel surya memiliki grafik karakteristik antara tegangan, daya dan arus. Pengondisian pada umumnya menggunakan konverter yang dikontrol algoritma yang disebut *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT akan mengkondisikan tegangan panel agar panel selalu bekerja pada kondisi optimal. Jenis algoritma MPPT yang umum digunakan ialah metode *Perturb and Observation*, yang kontrolnya mudah, tetapi tidak efisien dari segi waktu dan memiliki rugi rugi besar. Kekurangan dari metode ini ialah saat *steady State*, nilai daya output berosilasi di sekitar titik puncak daya sehingga memiliki rugi rugi yang cukup besar. Besarnya step *tracking* oleh P&O mempengaruhi kecepatan *tracking* dan akurasi. Saat step dari *tracking* diperkecil, akurasi dari pelacakan nilai puncak akan meningkat, namun kecepatan pelacakan titik puncak akan melambat, begitu pula sebaliknya. [2]

Panel surya memiliki peluang yang besar untuk diaplikasikan pada alat alat terbang seperti pesawat tanpa awak. Pesawat tanpa awak memiliki banyak aplikasi yang sangat bermanfaat seperti untuk monitoring daerah terpencil, atau untuk metode pengiriman barang. Jika drone hanya mengandalkan baterai sebagai sumber energinya maka pesawat tanpa awak tersebut hanya akan mampu terbang dalam rentang waktu beberapa jam. Untuk memperpanjang durasi terbang dari drone tersebut makan panel surya merupakan pilihan yang tepat sebagai sumber energi. Namun, panel surya yang dipasang pada benda bergerak mengalami perubahan iradiansi yang cepat karena melewati lingkungan yang berbeda dibandingkan yang diam. Dengan algoritma seperti P&O

yang telah dijelaskan sebelumnya, maka panel surya kurang bisa bekerja secara optimal.

Oleh karena itulah untuk implementasi panel surya pada pesawat tanpa awak diperlukan kontrol MPPT dengan respon yang cepat dan dapat menyesuaikan dengan lingkungan sehingga panel surya bergerak dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Pada penelitian ini akan dikaji tentang MPPT pada benda bergerak yang memiliki iradiansi yang tidak konstan dengan cepat dan perbandingan antara algoritma-algoritma yang digunakan dalam MPPT.

1.2 Perumusan Masalah

Pesawat panel surya bergerak dengan kecepatan tinggi sehingga nilai iradiansi berubah dengan sangat cepat. Untuk memastikan nilai daya yang dikeluarkan panel selalu maksimal maka diperlukan *Maximum Power Point Tracking*. Algoritma konvensional seperti P&O merupakan algoritma yang paling banyak digunakan. Namun P&O memiliki kelemahan yaitu memiliki respon yang lambat serta nilai *steady state* yang berosilasi. Sehingga untuk aplikasi pada pesawat panel surya diperlukan algoritma yang lebih kuat.

Nilai iradiansi bervariasi dari waktu ke waktu, sehingga tegangan output keluaran generator juga berubah-ubah, bisa jadi lebih kecil atau lebih besar dari tegangan baterai. Untuk mengkondisikan tegangan panel dibutuhkan konverter yang bisa menaikkan atau menurunkan tegangan output. Selain kemampuan pengkondisian tegangan, konverter juga harus memiliki bobot yang ringan mungkin, dikarenakan jika bobot terlalu besar maka bisa mempengaruhi daya jelajah dari pesawat.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk

1. Mendesain dan Mengimplementasikan Maximum Power Point Tracking berbasis logika fuzzy dengan konverter buck
2. Identifikasi karakteristik daya terkontrol logika fuzzy dengan iradiansi yang berubah-ubah
3. Mendapatkan perbandingan antara MPPT dengan kontrol logika Fuzzy dan P&O

1.4 Batasan Masalah

1. Desain dan implementasi Maximum Power Point Tracking dengan fuzzy logic control untuk optimaslisasi daya pada panel surya
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan panel surya laboratorium dengan daya 100 W
3. Perubahan daya dilakukan dengan mengubah nilai variabel resistance
4. Analisa dan perhitungan dilakukan pada konsisi ideal

1.5 Metodologi

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mempelajari prinsip kerja dari MPPT dengan kontrol logika fuzzy. Sebagai pengkondisi tegangan MPPT akan menggunakan konverter buck sehingga perlu dipelajari karakteristik baik output maupun switching dari konverter. Respon algoritma fuzzy terhadap perubahan iradiansi matahari juga perlu ditinjau lebih lanjut.

2. Pengimplementasian Alat

Pada tahap ini dilakukan pembuatan MPPT berdasarkan desain yang telah dibuat. Pembuatan terdiri dari tiga tahap yaitu pemrograman dari algoritma Fuzzy dan P&O yang merupakan pengendali dari keseluruhan sistem. Yang kedua merupakan proses perangkaian konverter yang merupakan pengkondisi tegangan dari MPPT. Komponen paling vital merupakan transistor diode serta induktor yang merupakan dasar dari rangkaian buck boost. Tahap terakhir dari perangkaian alat adalah integrasi antara program MPPT dan konverter buck boost

3. Pengujian Alat

Proses pengujian alat dilakukan untuk mengukur kinerja alat yang telah dibuat. akan dibandingkan antara hasil optimalisasi dengan MPPT Fuzzy dan MPPT P&O. Parameter yang akan diukur adalah daya yang dihasilkan dari MPPT, serta kecepatan respon terhadap perubahan intensitas cahaya

4. Analisa Data

Setelah pengujian telah selesai dilakukan maka akan dilakukan analisa terhadap data data yang telah didapat. Akan dianalisa pengaruh

dari kedua algoritma terhadap kedua parameter yang telah diujikan. pengaruh dari intensitas cahaya juga akan dianalisa perbandingannya dengan simulasi yang telah dibuat

5. Kesimpulan

Pada akhir penelitian akan ditarik kesimpulan berdasarkan analisa yang telah dilakukan.

1.6 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi referensi yang dapat menunjang industri kelistrikan terutama yang berhubungan dengan bidang energi terbarukan
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topic energi terbarukan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab terurai sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi Tugas Akhir ini.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang *buck converter*, *MPPT*, dan *Fuzzy Logic Control*

BAB 3 Desain, Simulasi, dan Implementasi

Bab ini berisi mengenai perancangan sistem MPPT secara matematis, simulasi menggunakan perangkat lunak, dan implementasi MPPT dengan panel surya

BAB 4 Pengujian dan Analisis Data

Bab ini berisi pengujian dan analisis data terhadap hasil pengujian rangkaian converter yang telah dibuat serta performa algoritma MPPT yang diteliti.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

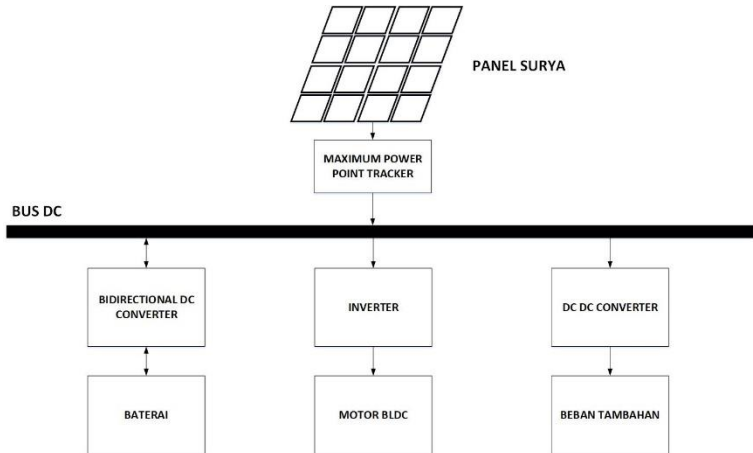
Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan berisi tentang saran untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya

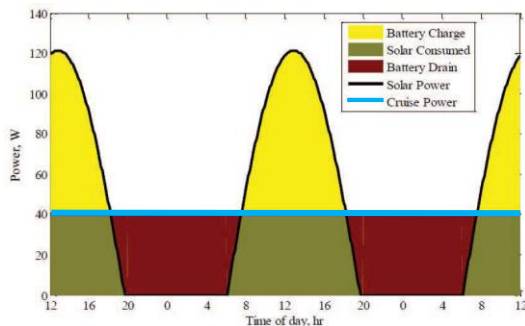
Pesawat tanpa awak tenaga surya mulsi diminati untuk aplikasi pengamatan dan patroli, untuk memenuhi aplikasi ini pesawat panel surya harus dapat terbang selam jangka waktu yang panjang. Sebagai sumber tenaga pesawat menggunakan energi dari panel surya dan baterai. Agar beban pada baterai dan panel surya tidak terlampau besar maka diperlukan pesawat dengan efisiensi yang tinggi serta berat yang seringan mungkin. [1] Pesawat tanpa awak tenaga surya memiliki arsitektur sistem kelistrikan seperti gambar 2.1



Gambar 2.1. Topologi Sistem Kelistrikan Solar UAV

Panel surya sebagai sumber listrik utama dari pesawat tanpa awak tenaga surya. Maximum power point tracking digunakan untuk memastikan agar daya yang mengalir dari panel surya maksimal. Daya dari panel surya dapat dialirkan ke beban secara langsung maupun digunakan untuk charging baterai sebagai energi storage. Ketika intensitas matahari memiliki nilai yang cukup beban berupa motor dan beban tambahan lain akan mengambil sumber energi langsung dari panel surya, namun ketika intensitas matahari tidak cukup maka sumber

energi akan diambil dari baterai [2]. Pembagian peran antara baterai dan panel surya ini dijelaskan pada gambar 2.2



Gambar 2.2. Pola Manajemen Energi Solar UAV [2]

Pada pukul 0 hingga 6 matahari belum memancarkan sinar sehingga untuk terbang pesawat masih bergantung pada baterai, pada pukul 6 hingga 8 matahari mulai bersinar tetapi energi yang dapat dihasilkan panel surya masih belum cukup untuk menggerakkan pesawat sehingga baterai masih digunakan. Pukul 8 hingga 17 energi matahari lebih besar dari energi gerak pesawat sehingga motor menarik energi dari panel surya dan baterai mulai melakukan charging, setelah matahari terbenam siklus akan berulang kembali. Dengan penghitungan daya yang tepat serta iradians matahari yang cukup. Pada kondisi ideal pesawat bisa terus terbang di udara

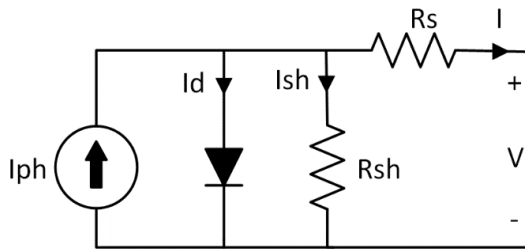
2.1 Permodelan Panel Surya

Photovoltaic merupakan sebuah material yang dapat mengubah energi dari foton menjadi energi listrik. Foton dengan panjang gelombang yang cukup pendek dapat melepaskan ikatan elektron dari suatu atom. Elektron tersebut dapat mengalir pada suatu konduktor dan menjadi arus listrik. Energi untuk melepaskan ikatan tersebut didapat dari matahari, hal ini merupakan peluang yang cukup besar mengingat permukaan bumi menerima energi sebesar 6000 kali lipat dari total kebutuhan energi setiap harinya. [3]

Sel surya merupakan sumber arus, besarnya arus yang mengalir dari panel surya bergantung pada intensitas cahaya matahari serta

temperatur sel surya. Semakin besar intensitas cahaya matahari arus yang mengalir dari panel surya akan semakin besar, berbeda dengan temperatur, perubahan temperatur berbanding terbalik dengan arus yang mengalir dari sel. Energi yang dihasilkan satu sel sangat kecil, sehingga untuk menghasilkan daya yang besar sel surya perlu dibentuk menjadi sebuah modul yang terdiri dari banyak sel surya. [4]

Sebuah PV modul dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian ekuivalen yang terdiri dari sumber arus, diode, serta hambatan internal yang direpresentasikan oleh resistor seperti yang tersusun pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pemodelan Panel Surya

Resistansi R_s merupakan resistansi gabungan dari material pada panel. Nilai R_s bergantung pada resistansi pada plat besi maupun konduktor yang menghubungkan sel panel surya, serta resistansi antar junction p-n. Resistansi R_p muncul dikarenakan adanya arus bocor pada p-n *junction* dan hal itu bergantung pada proses fabrikasi panel surya. Nilai R_p pada umumnya memiliki nilai besar sedangkan R_s kecil. Pada kondisi tertentu kedua parameter ini dapat diabaikan [4].

Rangkaian ekuivalen tersebut dapat digunakan untuk menentukan karakteristik dari modul. Karakteristik yang akan dicari adalah hubungan antara tegangan dan arus panel surya, serta tegangan dan daya dari panel surya. Hubungan dari ketiga variable tersebut akan membentuk sebuah grafik karakteristik dari panel surya.

Temperatur merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kurva karakteristik panel surya, namun sangat sulit untuk mengetahui temperatur sesungguhnya dari suatu sel surya sehingga dilakukan pendekatan untuk mengukur suhu sel dari suhu panel surya [4]. Setiap sel dari panel surya menghasilkan arus (I_{ph}) yang nilainya

dipengaruhi oleh iradiansi dari sinar matahari serta temperature sekitar. Untuk menghitung nilai I_{ph} dapat digunakan.

$$I_{ph} = \frac{I_{sc} + K_i(T-298) \times I_r}{1000} \quad (2.1)$$

I_{sc} = arus hubung singkat dari sel surya

K_i = Konstanta temperature

I_r = Intensitas cahaya matahari

T = Temperatur sekitar

Nilai arus output akan dipengaruhi oleh nilai I_D dan I_{sh} sehingga nilai arus output bisa dihitung dengan menggunakan

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (2.2)$$

Untuk menghitung arus yang mengalir pada diode digunakan persamaan berikut

$$I_D = I_o \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

I_o = arus saturasi diode

V = tegangan panel surya

R_s = hambatan seri dari panel

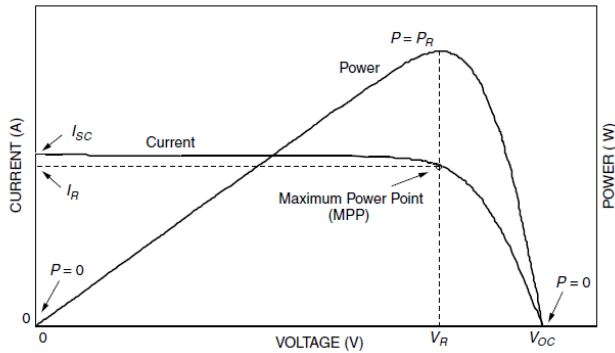
k = konstanta boltzman

q = muatan elektron

Sehingga didapatkan persamaan yang menghubungkan nilai arus dan tegangan yang keluar dari panel surya adalah

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.4)$$

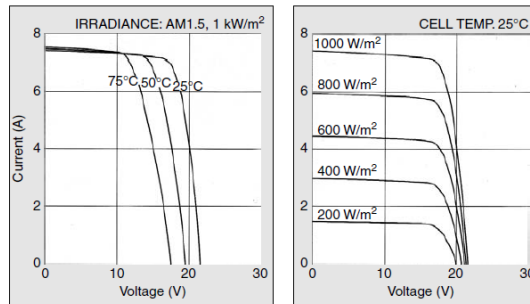
Dengan persamaan diatas operasi dari panel surya akan membentuk kurva karakteristik I-V. Pada iradiansi dan temperatur yang konstan titik operasi dari panel surya merupakan perpotongan antara kurva karakteristik I-V dan karakteristik beban. Titik operasi dari Panel bergerak dari resistansi nol yang menyebabkan I_{sc} ke resistansi tak hingga yang menyebabkan muncul V_{oc} [6].



Gambar 2.4. Kurva Karakteristik Panel Surya [3]

Daya maksimum berada pada titik dimana perkalian antara tegangan dan arus berada pada titik tertinggi, pada Gambar 2.4 dapat dilihat panel surya bekerja pada daya maksimum ketika tegangan panel mencapai V_R . Untuk mencapai daya maksimum dapat dicapai dengan mengatur pembebanan. Dengan mengatur pembebanan maka arus yang mengalir pada rangkaian akan dapat dikondisikan sehingga tegangan panel juga terkondisikan.

Performa dari panel surya dipengaruhi oleh dua hal, yaitu iradiansi dan temperatur. Perubahan iradiansi dan temperatur akan mengubah kurva karakteristik dari panel surya seperti dijelaskan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Karakteristik Panel Surya Terhadap Iradiansi Dan Suhu [3]

Perubahan iradiansi akan berbanding lurus dengan meningkatnya nilai I_{sc} , dan sedikit mengurangi nilai V_{oc} . Sedangkan perubahan suhu

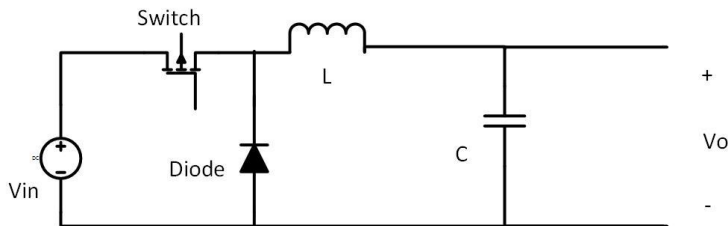
berpengaruh pada besarnya open circuit voltage, semakin panas sebuah modul, maka nilai V_{oc} dari modul tersebut akan semakin kecil. Titik daya maksimum dari panel bergeser dengan perubahan iradiansi dan temperatur, sehingga untuk memastikan panel bekerja dengan daya maksimum titik operasinya harus diatur menyesuaikan kondisi panel surya.

2.2 Buck Converter

MPPT memiliki dua komponen penting, yaitu *Converter* dan *Algoritma Pengontrol*. Oleh sebab itu, pemilihan konverter yang tepat memegang peranan penting dalam menghasilkan daya yang optimal. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam memilih jenis konverter adalah aliran daya input dan output, biaya, fleksibilitas, serta respon terhadap karakteristik PV [2]. *DC DC converter* pada MPPT berguna sebagai aktuator untuk menyesuaikan besarnya arus yang mengalir dari panel surya agar berada di titik MPP dengan mengatur switching pada mosfet. Konverter yang sering digunakan untuk mengkondisikan tegangan adalah *buck converter*, konverter ini banyak digunakan dikarenakan konfigurasi yang mudah serta karakteristiknya yang dapat menurunkan tegangan. Nilai tegangan output dari konverter buck dapat dihitung dengan persamaan

$$V_o = D \times V_{in} \quad (2.5)$$

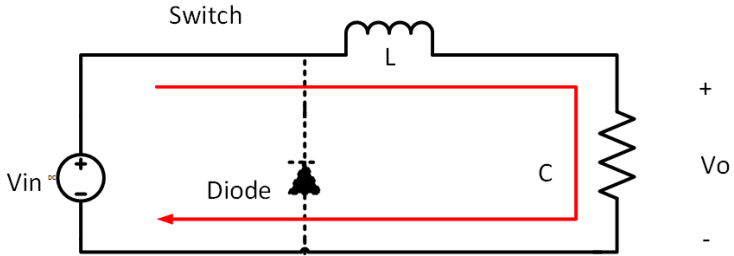
Dalam penelitian ini akan digunakan buck converter konvensional. Rangkaian buck dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6. Rangkaian Konverter *Buck*

Konversi tegangan pada rangkaian buck bergantung pada rasio charge dan discharge dari induktor, prinsip kerja dari konverter ini

terbagi dua yaitu pada saat saklar terbuka dan saklar tertutup. Masing masing prinsip kerja akan dijelaskan dengan lebih detail oleh gambar 2.7 dan 2.8

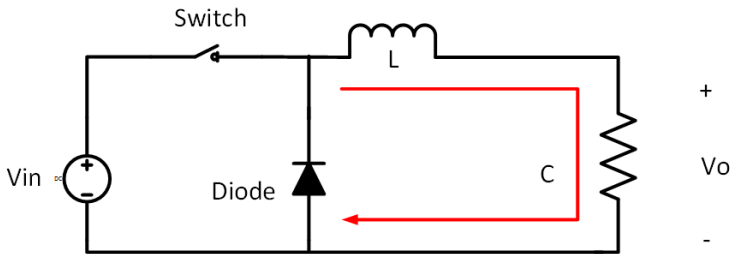


Gambar 2.7. Mode Saklar ON

pada mode saklar on tegangan input akan charging induktor dan resistor.

$$V_{in} = V_L + V_{out} \quad (2.6)$$

$$V_{in} = \frac{L \Delta I}{T_{on}} + V_{out} \quad (2.7)$$



Gambar 2.8. Mode saklar off

Pada saat mode saklar off, tegangan input terputus

$$V_L = V_{out} \quad (2.8)$$

$$\frac{L\Delta I}{T_{off}} = V_{out} \quad (2.9)$$

$$L\Delta I = V_{out} \times T_{off} \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.9 ke 2.6

$$V_{in} = \frac{V_{out} \times T_{off}}{T_{on}} + V_{out} \quad (2.11)$$

$$V_{in} = V_{out} \times \left(\frac{T_{off}}{T_{on}} + 1 \right) \quad (2.12)$$

$$V_{in} = \frac{T_{off} + T_{on}}{T_{on}} V_{out} \quad (2.13)$$

$$V_{in} = \frac{T}{D \times T} V_{out} \quad (2.14)$$

$$V_{out} = D V_{in} \quad (2.15)$$

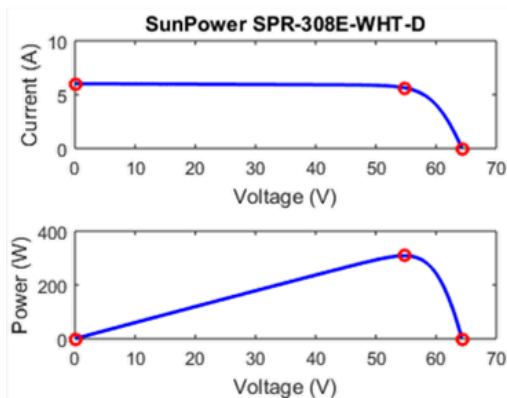
Didapatkan bahwa nilai tegangan output dari buck converter akan selaras dengan duty cyclenya. Dalam aplikasi MPPT ini, buck converter sebenarnya tidak dimanfaatkan sebagai penurun tegangan, namun buck converter dioperasikan sebagai komponen pengatur arus panel surya dengan cara mengubah *duty cycle* dari pensaklaran Mosfet.

2.3 Maximum Power Point Tracking(MPPT)

PV merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk menangkap energi matahari dan kemudian energi tersebut akan diubah menjadi energi listrik. Dalam aplikasi konvensional, PV memiliki kekurangan terutama pada efisiensi konversi energi surya yang dihasilkan masih rendah, maksimal 20% pada sel PV komersial [3]. Hal tersebut disebabkan karena perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban. Pada daerah yang terisolasi, sistem PV stand-alone mempunyai kelemahan diantaranya rugi baterai dan pada umumnya beroperasi tidak pada titik operasi yang efisien dan maksimum [4].

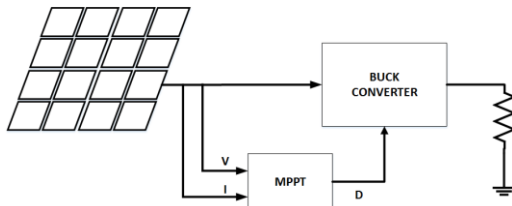
Pada kondisi beban dan kondisi atmosfer yang berbeda, daya output maksimum Panel Surya terjadi pada nilai arus dan tegangan yang

berbeda-beda. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Nilai daya maksimum berada pada titik tegangan dan arus tertentu. Grafik karakteristik tersebut bergantung pada dua pengaruh eksternal yaitu suhu panel surya dan iradiansi matahari. Untuk mengkondisikan agar daya tetap berada pada titik tersebut maka digunakan sebuah metode yaitu dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT adalah suatu metode untuk melacak (*track*) titik kerja sebuah sumber energi agar menghasilkan daya maksimum [5]. Hasil dari nilai yang terlacak oleh MPPT akan digunakan untuk mengatur *duty cycle* dari konverter sehingga tegangan output dari panel akan terkondisi sesuai titik maksimum. Dengan kendali MPPT diha rapkan terjadi konversi energi maksimal pada berbagai kondisi beban dan kondisi atmosfer.



Gambar 2.9. Maximum Power Point Pada Panel

Arsitektur dasar dari sistem MPPT pada panel surya terdiri dari DC DC *Converter* yang terletak diantara panel surya dan beban agar dapat mencapai pembebanan maksimal. Algoritma MPPT mengatur *duty cycle* DC-DC Converter. [10]

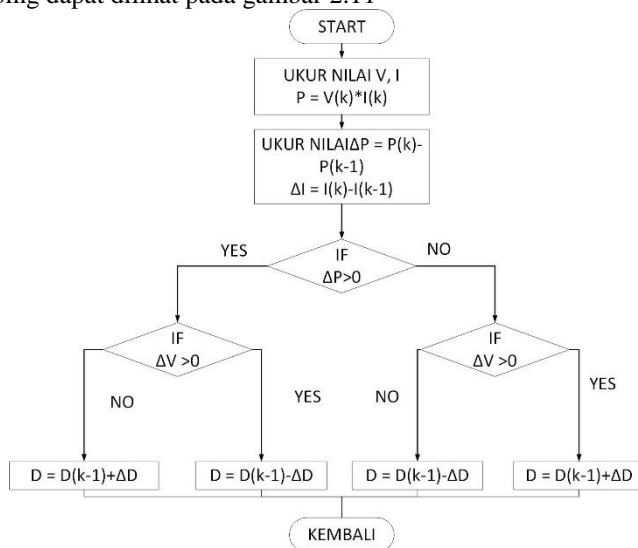


Gambar 2.10. Arsitektur Sistem MPPT

Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir ke beban adalah daya maksimal. Konverter DC-DC dalam sebuah sistem MPPT digunakan untuk menggeser tegangan ke titik maksimum dengan menggunakan pendekatan *intelligent control*, sehingga akan didapatkan sebuah daya operasi dari panel surya yang maksimum [5].

2.4 Metode Hill Climbing

Algoritma Hill Climbing bekerja dengan cara mengubah *duty cycle* dari *converter* dan memperhatikan efeknya terhadap daya keluaran panel surya. Metode ini banyak digunakan karena aplikasinya yang sederhana serta biaya implementasinya yang murah. Pengambilan keputusan didasarkan pada dua hal, perubahan daya dan perubahan arus, ketika daya dan arus keduanya berubah kearah yang lebih besar maka *duty cycle* akan terus diperbesar, namun ketika berlaku sebaliknya *duty cycle* akan dikurangi [10]. Flowchart dari metode hill climbing dapat dilihat pada gambar 2.11



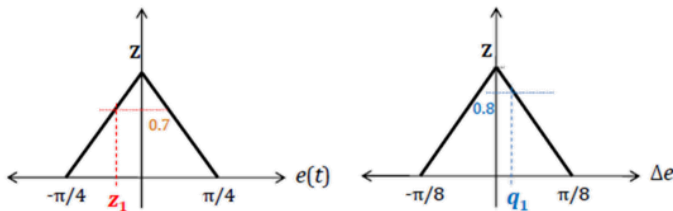
Gambar 2.11. Flowchart Metode Hill Climbing

Sistem MPPT hill climbing konvensional masih memiliki kekurangan yaitu dalam hal kecepatan sistem untuk melacak dimana titik MPP berada serta adanya osilasi yang cukup besar pada titik MPP sehingga daya yang dihasilkan kurang halus. Hal tersebut dikarenakan penggunaan algoritma yang masih konvensional sehingga daya yang dihasilkan belum bisa mencapai *steady state*.

2.5 Fuzzy Logic Control

Dari berbagai metode *Intelligent Control*, Logika Fuzzy merupakan metode yang banyak menarik perhatian sebagai kontrol motor, converter, dan lain lain. Hal ini dikarenakan Logika Fuzzy memiliki respon yang lebih baik dibandingkan kontrol konvensional lainnya. Dalam menghadapi cuaca yang berubah ubah secara tidak linier, logika fuzzy dapat mengambil keputusan dengan baik [2]. Logika fuzzy berbeda dengan logika biner, dikarenakan output bukan merupakan 0 atau 1 seperti biner, melainkan akumulasi keanggotaan variable input dalam *Membership Function* sehingga nilai output akan bergantung pada *rule* yang menghubungkan *input* serta pembobotan pada setiap *membership function*. *Membership function* dari logika fuzzy merupakan batas batas dimana nilai tersebut diklasifikasikan, suatu nilai bisa saja masuk kedalam dua atau lebih suatu klasifikasi

seperti digambarkan pada **Gambar 2.12**. Adanya perpotongana dari nilai tersebut akan berpengaruh terhadap nilai output dari logika fuzzy.



Gambar 2.12. Klasifikasi Fungsi Keanggotaan pada Fuzzy

Kontrol logika fuzzy terdiri dari tiga tahap, fuzzifikasi, inferensi dengan rule, dan defuzzifikasi. Pada proses fuzzifikasi input dalam bentuk *crisp* dikonversi menjadi variabel linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan. Umumnya keanggotaan terdiri dari lima level yaitu

NB(negative big), NS(negative small) Z(zero), PS (positive small), and PB(positive big). Setelah nilai *crisp* dari input sudah dikonversi menjadi variabel linguistik, fungsi keanggotaan dari output akan ditentukan berdasarkan rule yang berisi kombinasi antara input dan output. Rule didasarkan pada karakteristik dari sistem. Pada prose defuzzifikasi output yang berbentuk variabel linguistik dikonversi menjadi *crisp* kembali. Output *crisp* inilah yang akan digunakan untuk pensaklaran mosfet pada MPPT. [11]

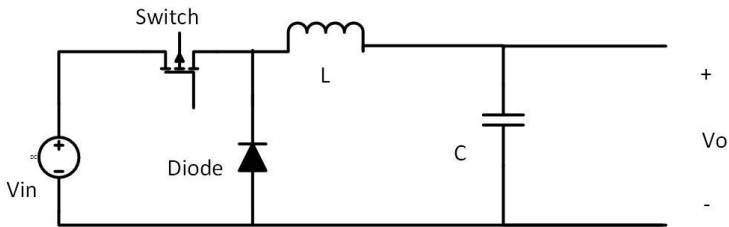
Jika dibandingkan dengan metode P&O, logika fuzzy memiliki waktu pendeteksian MPP yang lebih cepat, serta fluktuasi dari dayanya lebih kecil [6]. Cara kerja dari kotrol logika fuzzy adalah sensor akan mendeteksi arus dan tegangan yang masuk ke konverter, input dari sensor akan diolah menjadi daya dan arus. Variabel pertama adalah perubahan daya waktu, dengan variable kedua merupakan perubahan arus terhadap waktu. Kedua variable tersebut akan diolah oleh mikro controller dengan membandingkannya dengan *Membership Function* hasil dari perbandingan tersebut akan dikaitkan dengan rule yang mengatur output berupa *duty cycle*. Output ini akan dimasukkan ke *driver* Mosfet pada konverter sehingga *Duty Cycle* dari converter bisa mengkondisikan daya. Dikarenakan output bergantung pada nilai variable 1 dan 2, maka besarnya perubahan dengan menggunakan logika fuzzy lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab 3 ini akan dibahas mengenai desain sistem MPPT buck converter dengan menggunakan kontrol logika fuzzy. Penurunan parameter komponen berdasar pada pembahasan di bab 2. Setelah semua parameter diketahui sistem disimulasikan untuk memperhatikan performa dari algoritma yang telah ditentukan. Rangkaian pengujian yang akan dibuat adalah sebagai berikut.

3.1 Desain Buck Converter



Gambar 3.1. Desain Buck Converter

Desain onverter dimulai dengan penentuan range tegangan kerja dari sistem serta besarnya beban maksimal. parameter ini akan berpengaruh pada besarnya nilai induktor, kapasitor serta komponen lainnya. Desain juga berpatokan pada peralatan pendukung yang tersedia di laboratorium.

Tabel 3.1 . Parameter Rangkaian Buck

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Input maks	20	Volt
2.	Tegangan Output	12	Volt
3.	Daya output	100	Watt
4.	Frekuensi Switching	40k	Hz
5.	Ripple Arus	30	%
6.	Ripple Tegangan	5	%

Tegangan input maksimal dipilih 20 Volt mengacu pada *open circuit voltage* dari panel surya. Sedangkan tegangan output direncanakan 12 volt menyesuaikan dengan tegangan baterai. Dengan

tegangan output 12 V dan daya rating 100 W, maka akan didapatkan nilai arus yang mengalir pada sisi output adalah

$$P = V \cdot I \quad (3.1)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (3.2)$$

$$I = \frac{100W}{12V} \quad (3.3)$$

$$I = 8.33A \quad (3.4)$$

Nilai arus ini akan berpengaruh pada pemilihan belitan pada induktor. Frekuensi switching dari mosfet dipilih 40kHz dikarenakan diharapkan induktor memiliki dimensi sekecil mungkin sehingga diperlukan induktor dengan nilai induktansi rendah namun dapat melakukan charge dan discharge dengan cepat. Ripple arus dipilih 40% agar sistem bisa bekerja secara CCM pada saat dibebani rating maupun pada saat beban kurang dari rating. Dengan parameter tersebut maka didapatkan nilai induktor dapat diturunkan melalui persamaan

$$\frac{L\Delta I}{T_{on}} = V_{in} - V_{out} \quad (3.5)$$

$$L\Delta I = D \times T(V_{in} - V_{out}) \quad (3.6)$$

$$L\Delta I = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{f_s \times V_{in}} \quad (3.7)$$

$$L = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{f_s \times V_{in} \times \Delta I} \quad (3.8)$$

Dengan memasukkan parameter kedalam persamaan, maka didapat nilai induktansi

$$L = \frac{12 \times (20 - 12)}{10000 \times 20 \times 0.2 \times 8.33} \quad (3.9)$$

$$L = 18 \mu H \quad (3.10)$$

Nilai ripple tegangan dipilih sebesar 5% sehingga dengan tegangan output sebesar 20V akan memiliki nilai ripple tegangan sebesar 1 V

$$Vr = \frac{1}{c} \int_0^{ton} i(t) dt \quad (3.11)$$

$$C = \frac{D.T.I}{Vr} \quad (3.12)$$

$$C = \frac{D.I}{f_s.Vr} \quad (3.13)$$

Pada sistem MPPT nilai *duty cycle* akan terus berubah, sehingga dalam penentuan kapasitor diambil nilai *duty cycle* terbesar. Dengan memasukkan semua parameter kedalam persamaan akan didapatkan

$$C = \frac{1 \times 8.33}{10000 \times 1} \quad (3.14)$$

$$C = 833.33 \mu F \quad (3.15)$$

Nilai tersebut merupakan nilai minimum untuk menjaga agar ripple tegangan tidak melebihi 5%, pada implementasi nilai kapasitor menyesuaikan dengan pasar.

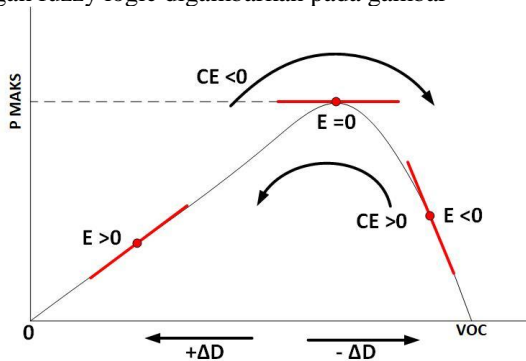
3.2 Desain kontrol logika Fuzzy

Sistem MPPT Fuzzy panel surya terdiri dari dua input dan satu output. Dimana input tersebut merupakan besarnya error dan perubahan error. Error merupakan perubahan daya dibandingkan dengan perubahan tegangan setiap waktu, sedangkan perubahan error adalah perubahan error tiap waktu.

$$E = \frac{P(t) - P(t-1)}{V(t) - V(t-1)} \quad (3.16)$$

$$CE = E(t) - E(t - 1) \quad (3.17)$$

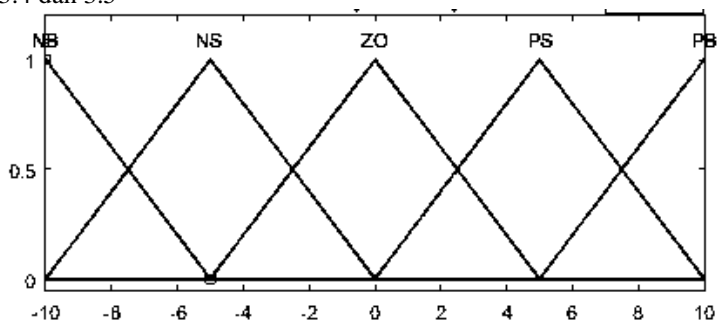
Nilai error besar pada saat titik operasi berada jauh dari daya maksimum dan nilainya akan mengecil seiring dengan mendekatnya titik operasi dengan daya maksimal. perubahan error menggambarkan arah tracking daya, nilai perubahan error negatif berarti tracking daya mengarah ke kanan, sedangkan saat perubahan error positif maka tracking daya akan ke arah kiri, hal tersebut dikarenakan pada sisi kiri dari titik maksimum nilai error positif, sedangkan di sisi kanan negatif. Saat titik operasi berada jauh dari titik maksimum maka duty cycle dari converter harus diubah dengan nilai yang cukup besar, berbeda dengan pada saat titik operasi sudah berada di titik maksimum duty cycle tidak perlu berubah. Nilai error dan perubahan error ini akan difuzzifikasi dengan fungsi keanggotaan fuzzy dan hasil tersebut akan dikaitkan dengan rule yang menghasilkan output berupa perubahan duty cycle dan arah perubahan duty cycle tersebut. Ilustrasi dari prinsip tracking daya dengan fuzzy logic digambarkan pada gambar



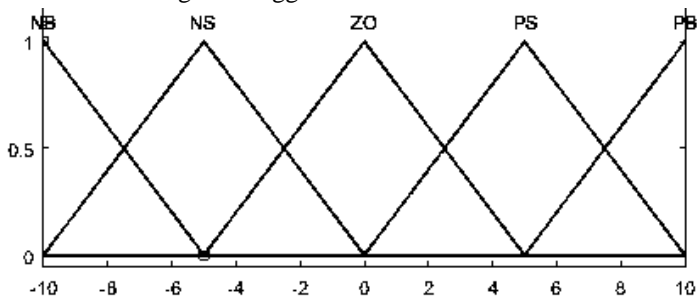
Gambar 3.2. Prinsip Kerja Kontrol Logika Fuzzy

Dalam desain kontrol logika fuzzy angkauan dari fungsi keanggotaan input dan output didasarkan pada karakteristik perubahan duty cycle terhadap perubahan daya yang didapat dari percobaan dengan menggunakan metode Hill Climbing konvensional. Dari metode ini didapatkan error rata rata adalah sebesar 10 dan nilai error maksimal sebesar 60, dengan pertimbangan kestabilan nilai maksimum dari fungsi keanggotaan diambil 10, nilai perubahan error maksimum

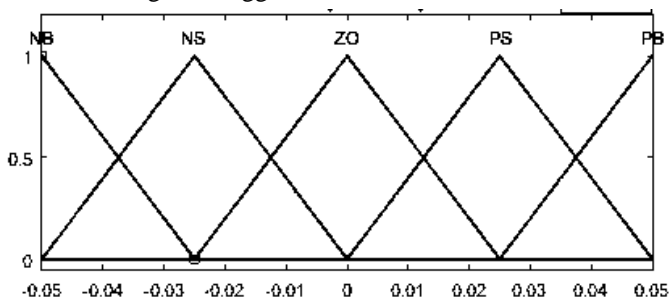
diambil dari besarnya error yaitu sebesar 10 . Duty cycle di set maksimal 0,05 agar sistem tidak memiliki nilai osilasi yang terlalu besar namun tetap dapat tracking dengan kecepatan yang sesuai. Fungsi keanggotaan dari input dan output fuzzy dapat dilihat pada gambar 3.3, 3.4 dan 3.5



Gambar 3.3. Fungsi Keanggotaan *Error*



Gambar 3.4. Fungsi Keanggotaan Perubahan *Error*



Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan perubahan *Duty Cycle*

Untuk menentukan hubungan antara kedua input dan output dari MPPT maka digunakan rule untuk mengaitkan kedua input tersebut. Rule sendiri merupakan beberapa set peraturan yang menjelaskan berbagai kondisi input. Pada sistem MPPT ini akan digunakan rule untuk memperkecil nilai error. Rule dapat dilihat pada Tabel 2

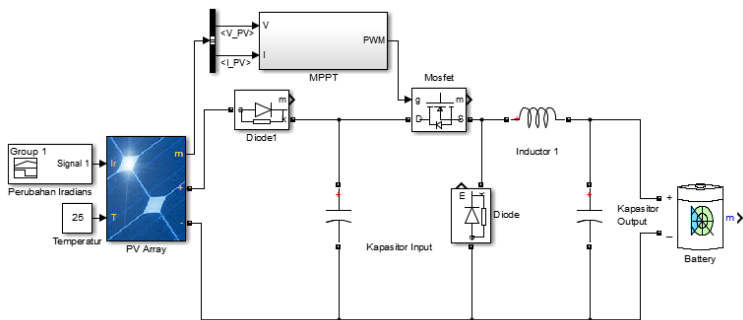
Tabel 3.2. Rule Kontrol Logika Fuzzy

CE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Z	PB	PB	PS	PS
NS	PS	PS	PS	Z	Z
Z	PS	Z	Z	Z	NS
PS	Z	Z	NS	NS	NS
PB	NB	NB	NB	NB	Z

Rule diatas akan mengkondisikan sistem agar selalu berada pada titik maksimal, semakin besar error maka perubahan duty cycle juga akan semakin besar. Rule diatas juga mempertimbangkan pengaruh perubahan iradians, pada perubahan iradians yang terlalu cepat maka akan didapat nilai error yang sangat besar, sedangkan perubahan duty cycle pada kondisi tersebut seharusnya kecil dikarenakan pergeseran tegangan maksimum tidak terlalu besar, sehingga pada rule diatur agar pada error yang terlalu besar nilai perubahan duty cycle kecil. Namun pada besar error yang masih dibawah batas perubahan duty cyle diatur besarnya agar tracking bisa dilakukan secepat mungkin.

3.3 Simulasi

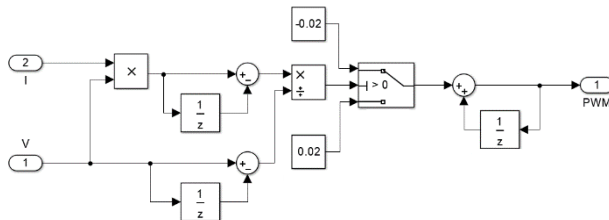
Dengan rule dan parameter yang telah dihitung, sistem MPPT disimulasikan. Untuk perbandingan akan disimulasikan dua buah algoritma yaitu Hill Climbing dan Fuzzy Logic Control. Rangkaian Simulasi dari sistem dapat dilihat pada gambar 3.6



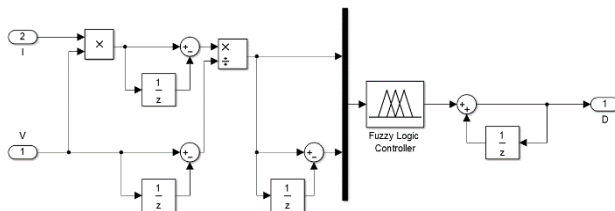
Gambar3.6. Rangkaian MPPT

Rangkaian MPPT hill climbing dan Fuzzy Logic Control memiliki komponen yang sama, yaitu terdiri dari panel surya sebagai sumber, buck converter sebagai aktuator, serta baterai sebagai beban. Perbedaan terletak pada algoritma yang mengontrol duty cycle dari converter.

Rangkaian kontrol dari MPPT Hill climbing dan fuzzy logic dapat dilihat pada gambar 3.7 dan 3.8



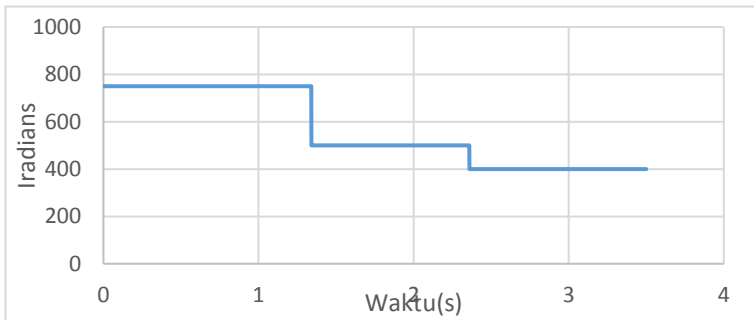
Gambar 3.7. Kontrol MPPT Hill Climbing



Gambar 3.8. Kontrol MPPT Fuzzy Logic

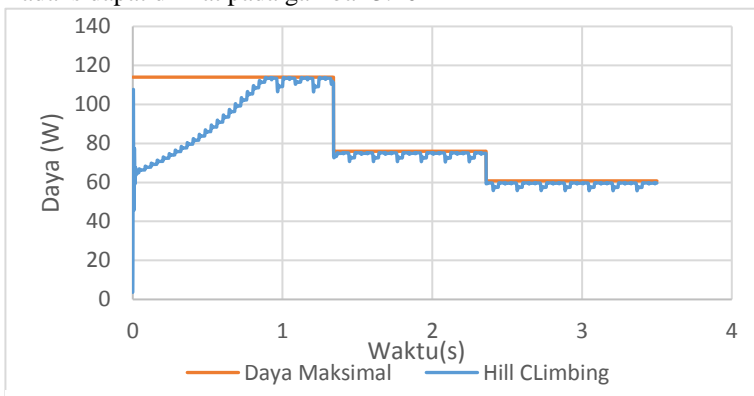
3.3.1 MPPT Dengan Irradians Berubah Ubah

Akan disimulasikan respon MPPT terhadap perubahan irradians, variasi irradians dipilih menyesuaikan dengan kondisi lapangan sehingga memungkinkan untuk dilakukan pengujian dalam kondisi serupa. Dipilih irradians sebesar 762 W/m^2 , 497 W/m^2 , dan 435 W/m^2 . waktu transisi irradians disesuaikan dengan waktu yang dibutuhkan MPPT untuk mencapai steady state dari keadaan awal. Grafik perubahan irradians dapat dilihat pada gambar 3.9



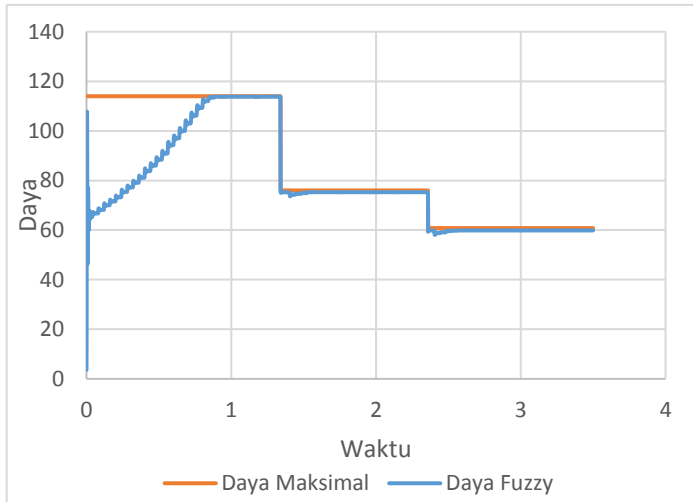
Gambar 3.9. Grafik Perubahan Irradians Simulasi

Dengan irradians yang berubah ubah maka MPPT akan memastikan daya yang mengalir merupakan daya tertinggi yang bisa dicapai panel surya. Respon MPPT hill climbing terhadap perubahan irradians dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10. Tracking Daya MPPT Hill Climbing (Simulasi)

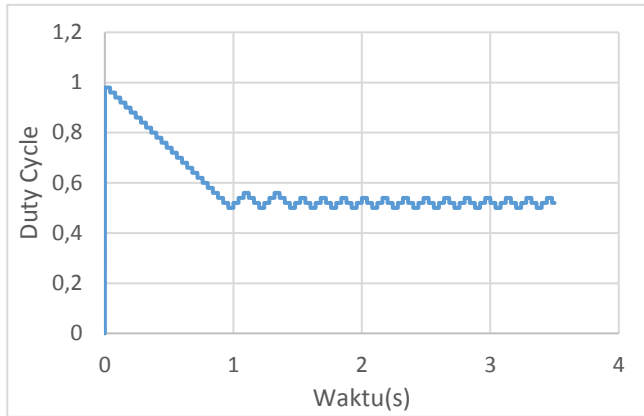
Pada MPPT hill climbing terdapat osilasi yang cukup signifikan pada MPP, osilasi ini menyebabkan adanya daya yang hilang. Dengan optimasi daya yang sempurna seharusnya panel surya dapat menghasilkan energi sebesar 71.95 Wh, dikarenakan kerja MPPT hill climbing yang kurang optimal energi yang dapat dihasilkan hanya sebesar 70.31 Wh. Terdapat energi yang hilang yaitu sebesar 2.28%



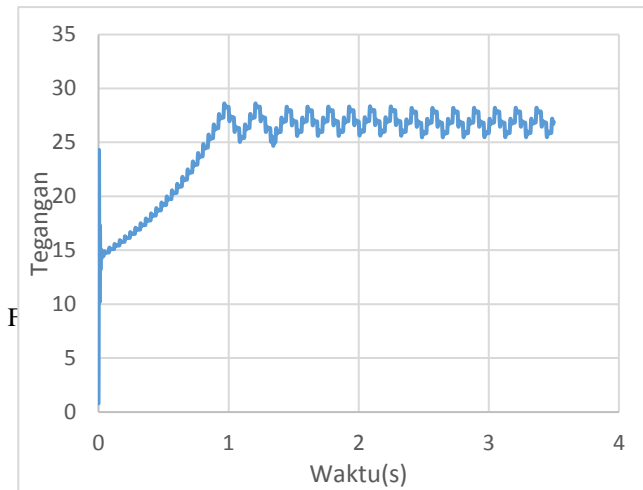
Gambar 3.11. Tracking Daya MPPT Fuzzy (Simulasi)

Pada MPPT Fuzzy nilai osilasi pada MPP dapat diminimalisir dikarenakan karakteristik dari kontrol logika fuzzy yang memiliki nilai output bervariasi. Nilai maksimum yang dapat dihasilkan panel surya adalah 71.95 Wh, dengan MPPT Fuzzy panel surya dapat menghasilkan energi sebesar 71.095 Wh. Jika dibandingkan dengan MPPT Hill Climbing besar energi yang hilang lebih kecil yaitu sebesar 1.19%

Perbedaan tracking daya ini terjadi dikarenakan perbedaan perubahan duty cycle yang terjadi pada kedua metode. Perbedaan perubahan duty cycle ini menyebabkan perbedaan tegangan operasi dari panel surya. Karakteristik dari perubahan duty cycle dan tegangan dari kedua metode dapat dilihat pada gambar 3.12, 3.13, 3.14, dan 3.15



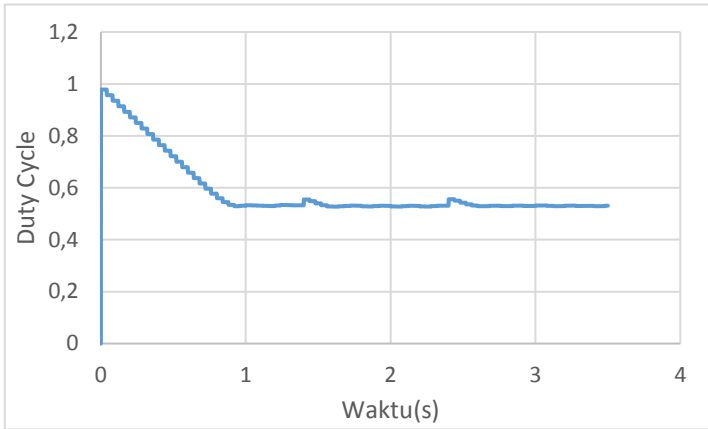
Gambar 3.12. Duty Cyle MPPT Hill Climbing



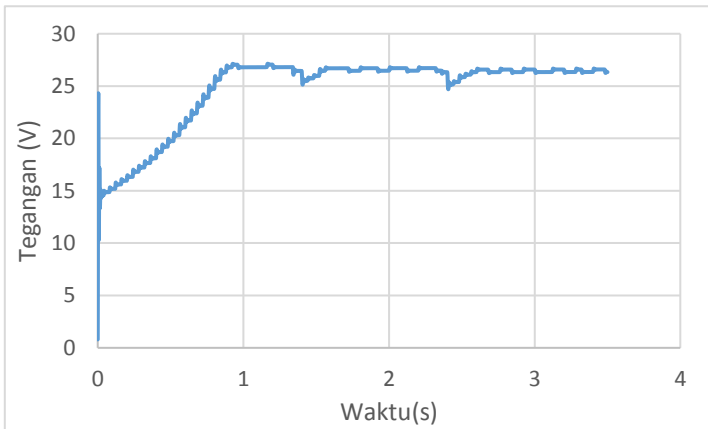
Gambar 3.13. Tegangan Panel Surya MPPT Hill Climbing

Pada MPPT Hill climbing perubahan duty cycle terjadi dengan nilai yang konstan sehingga ketika nilai perturb sangat kecil maka waktu tracking akan semakin lama, namun jika nilai perturb terlalu besar maka akan terjadi osilasi daya yang besar. Dikarenakan perubahannya yang konstan ini MPPT Hillclimbing tidak bisa

memiliki nilai operasi yang stabil, nilai operasi akan selalu berosilasi di sekitar titik puncak



Gambar 3.14 Duty Cycle MPPT Fuzzy



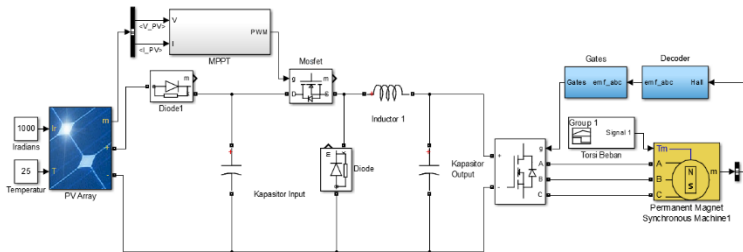
Gambar 13.15. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy

Pada MPPT dengan kontrol logika fuzzy nilai perturb dari duty cycle berubah ubah bergantung dari kondisi panel tersebut. Hal tersebut menyebabkan MPPT Fuzzy lebih cepat mencapai steady state dibandingkan MPPT Hill Climbing. Dan saat titik operasi berada di

puncak nilai perubahan duty cycle dapat mencapai nol sehingga sistem akan stabil dan tidak ada daya yang hilang.

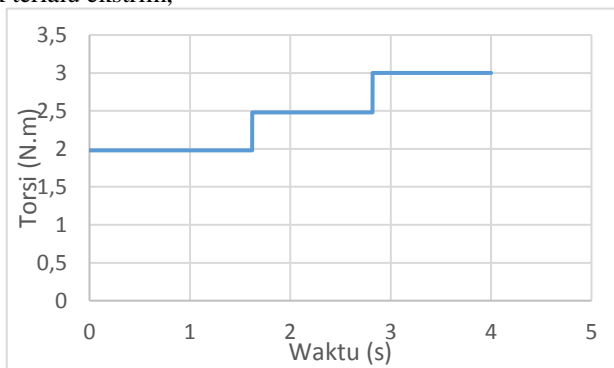
3.3.2 MPPT Dengan Arus Beban Berubah

Pesawat panel surya terbang dengan berbagai kondisi, dengan berbagai nilai torsi maupun kecepatan, sehingga MPPT harus bisa merespon perubahan yang terjadi dan memastikan daya yang mengalir dari PV tetap maksimal. Rangkaian simulasi dengan perubahan torsi adalah sebagai berikut



Gambar 3.16. Rangkaian Simulasi Perubahan Arus Beban

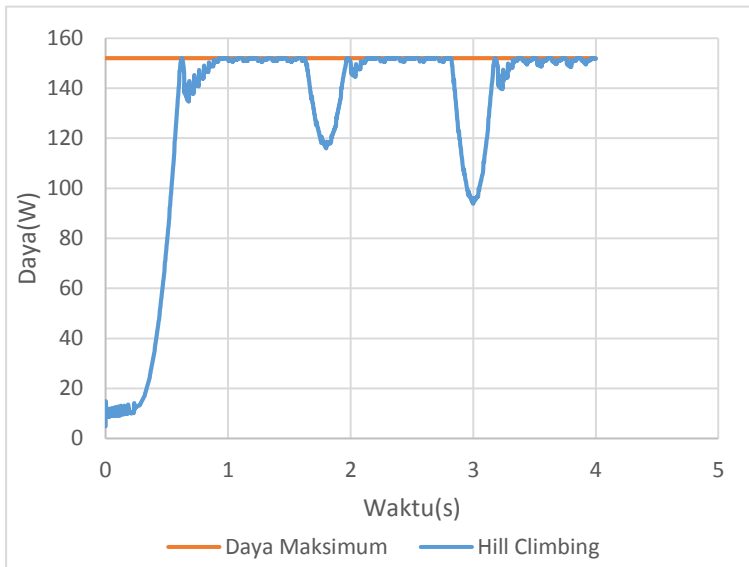
Grafik perubahan torsi beban terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 3.47. Torsi tersebut dipilih untuk memudahkan implementasi dikarenakan pada saat implementasi perubahan torsi akan dimodelkan dengan perubahan resistansi sehingga torsi dipilih pada jangkauan yang tidak terlalu ekstrim,



Gambar 3.17. Perubahan Torsi Beban

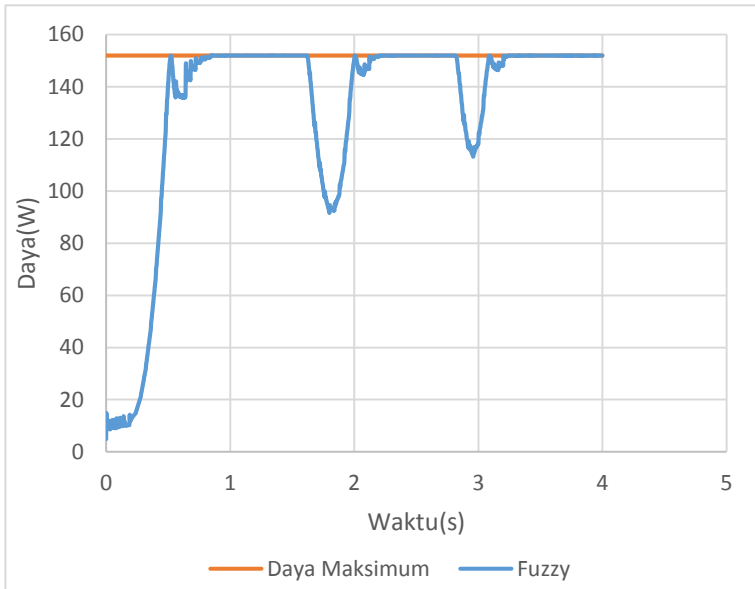
Pada saat perubahan torsi, daya dari panel surya akan turun dikarenakan ketidakcocokan antara arus beban dan arus maksimum pada panel surya, namun MPPT akan menyesuaikan duty cycle agar nilai antara beban dan panel surya memiliki nilai arus yang sesuai dengan MPP

Disimulasikan kedua metode MPPT terhadap perubahan beban. Respon MPPT Hill Climbing dan MPPT Fuzzy dapat dilihat pada gambar



Gambar 3.18 Tracking Daya MPPT Hill Climbing

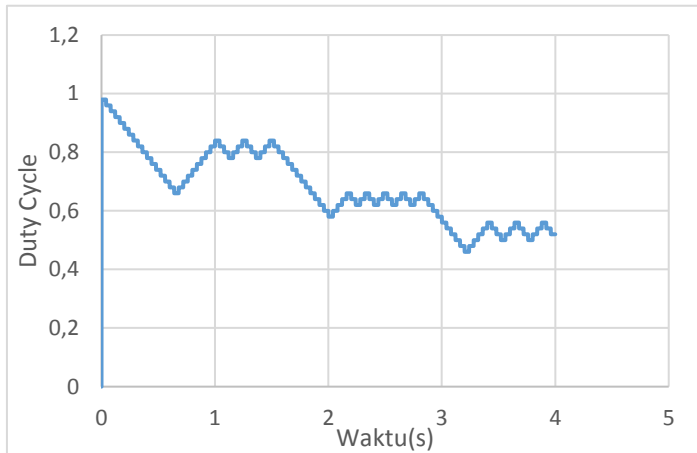
Pada MPPT hill climbing, panel surya dapat mencapai nilai maksimum setelah proses tracking, meskipun daya yang dihasilkan tidak dapat optimal dikarenakan adanya osilasi pada MPP. Energi maksimum yang dapat dihasilkan seharusnya sebesar 151.98 Wh, namun dengan MPPT Hill Climbing energi yang dapat dihasilkan hanya sebesar 144.36 Wh. Dari energi maksimum yang dapat dihasilkan terdapat kehilangan energi sebesar 5.014%



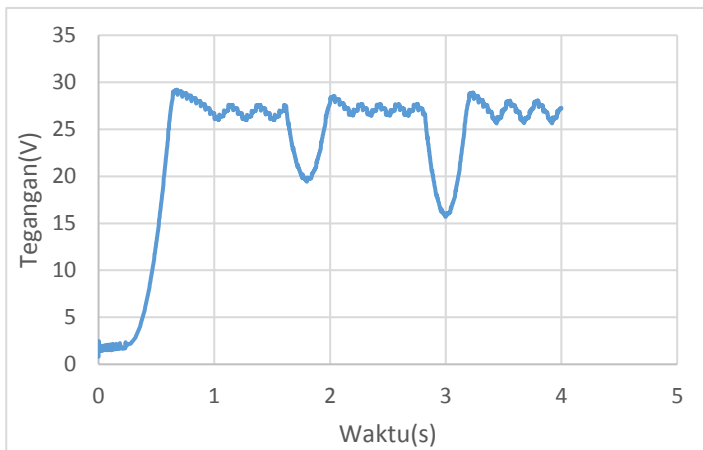
Gambar 3.19. Tracking Daya MPPT Fuzzy

Pada MPPT dengan kontrol logika fuzzy tracking daya dapat dilakukan dengan lebih cepat dan menghasilkan daya yang lebih stabil dikarenakan perubahan duty cycle tidak terpaku pada suatu nilai. Energi maksimum yang dapat mengalir dari panel surya adalah sebesar 151.985, energi yang dihasilkan dengan MPPT Fuzzy adalah sebesar 144.85, jumlah energi yang hilang adalah sebesar 4.701%.

Sama seperti perubahan irradians perbedaan terletak pada perubahan duty cycle. Pada perubahan torsi nilai arus yang mengalir ke motor berubah ubah sedangkan nilai tegangan MPP pada PV konstan dikarenakan irradians yang tidak berubah, sehingga converter harus mengkondisikan agar tegangan panel tetap berada pada titik yang konstan meskipun arus beban yang berubah ubah. Respon duty cycle dan tegangan dari kedua algoritma dapat dilihat pada gambar 3.50 3.51, 3.52 dan 3.53



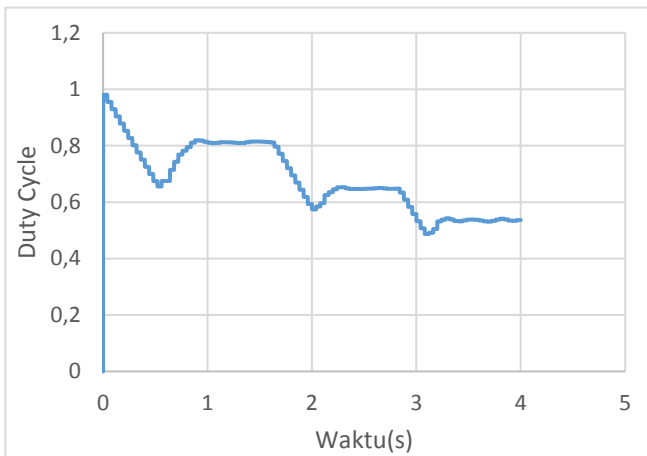
Gambar 3.20. Duty Cycle MPPT Hill Climbing



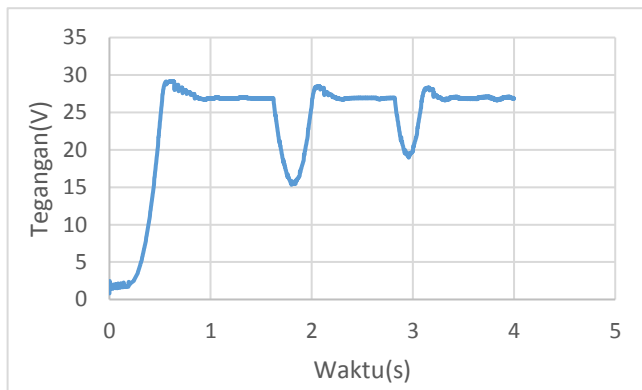
Gambar 3.21. Tegangan Panel Surya MPPT Hill Climbing

Arus beban semakin tinggi sehingga untuk mengimbangi nilai tersebut duty cycle dari converter harus diturunkan. Pada gambar diatas dapat dilihat jika nilai tegangan panel relatif konstan, saat terjadi perubahan beban nilai tegangan turun, namun sistem dapat

mengembalikan tegangan ke posisi semula sehingga daya yang mengalir dari sistem tetap maksimal. namun dikarenakan karakter hill climbing nilai tegangan tersebut tetap berosilasi dan menyebabkan rugi rugi.



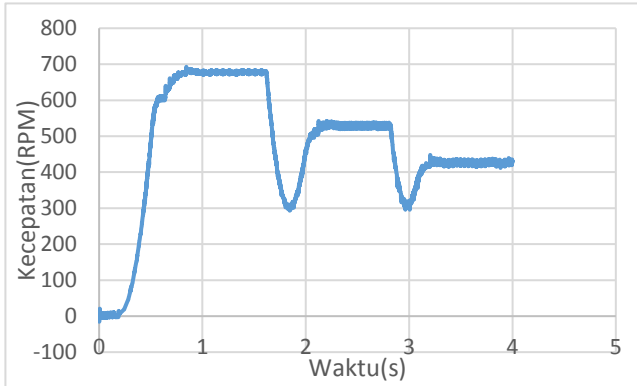
Gambar 3.22. Duty Cycle MPPT Fuzzy



Gambar 3.23. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy

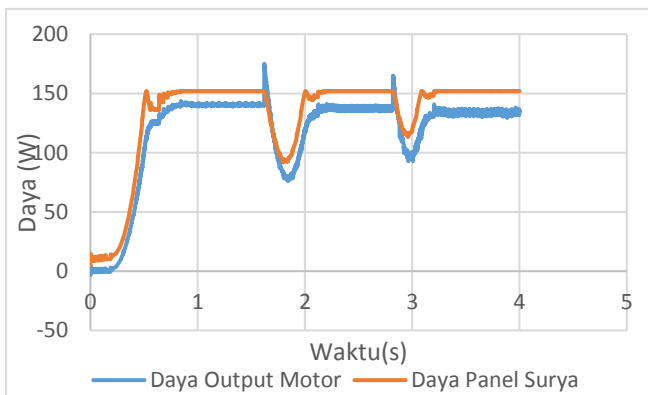
Hal yang sama berlaku pada MPPT dengan fuzzy logic, namun dikarenakan responnya yang lebih dinamis tegangan operasi panel lebih konstan berada pada MPP.

Pada pengujian perubahan torsi nilai daya output konstan meskipun torsi berubah ubah hal itu dikarenakan pada saat torsi berubah, kecepatan putar juga berubah untuk menyeimbangkan perubahan torsi tersebut.



Gambar 3.24. Grafik Kecepatan Motor

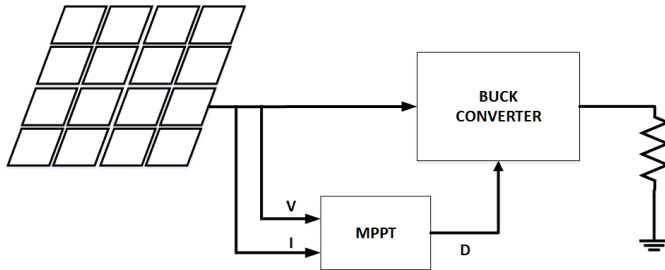
Sesuai dengan rumus $P = \tau \times \omega$ maka saat torsi beban naik kecepatan putar dari motor akan menurun. Dapat dilihat pada gambar jika daya output dari motor dan daya pada panel surya relatif sama. Nilai daya motor sedikit lebih kecil dikarenakan adanya losses pada motor



Gambar 3.25. Perbandingan Daya Panel surya dan Motor

3.4 Implementasi

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai komponen komponen yang digunakan pada implementasi MPPT. MPPT terdiri dari dua komponen utama yaitu Buck Converter dan Sensor. Blok diagram rangkaian MPPT dapat dilihat pada Gambar 3.56



Gambar 3.26. Blok Diagram MPPT

Tahap pertama merupakan implementasi komponen pensaklaran, untuk peran pensaklaran buck converter, dipilih Mosfet IRFP 4332 diarenakan kecepatan switching yang tinggi, mampu menahan tegangan drain source hingga 250 V serta menghantarkan arus hingga 42 A. Untuk trigger mosfet diatur melalui mikrokontroller berupa arduino nano dengan dijembatani optocoupler FOD 3182. Frekuensi pensaklaran Mosfet dipilih sebesar 40kHz dengan pertimbangan pemilihan nilai induktor pada persamaan. Sedangkan untuk dioda dipilih ultrafast switching diode agar dapat menahan frekuensi switching yang sangat cepat. Dipilih MUR 1560 dengan recovery time kurang dari 55 ns, dapat menahan teangan 600V serta melewati arus sebesar 15A.

Tahap kedua merupakan pemilihan induktor, sesuai dengan perhitungan pada persamaan, induktor dipilih dengan nilai 288 uH. Jenis inti induktor yang digunakan dipilih inti ferite dengan jenis EE dikarenakan inti jenis ini memiliki batas saturasi yang cukup tinggi. Untuk menentukan jumlah belitan yang dibutuhkan untuk menciptakan induktor tersebut dapat menggunakan perhitungan

$$N = \sqrt{\frac{L}{Al}}$$

Nilai induktansi yang diperlukan adalah 288 μH dan inti memiliki nilai A_l sebesar 188 nH/turn^2 sehingga diperlukan jumlah belitan sebanyak 39. Belitan terdiri dari kawat email yang tergabung sebanyak 10 buah agar belitan sanggup menahan arus sebesar 10 A

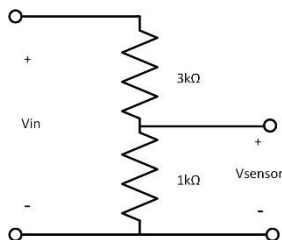
Tahap selanjutnya merupakan penentuan kapasitor untuk filter tegangan output. berdasarkan persamaan nilai kapasitor yang diperlukan untuk filter adalah 833 μF . Dikarenakan jenis tersebut tidak tersedia di pasaran, maka dipilih nilai kapasitor sebesar 1000 μF sebagai kapasitor filter.

MPPT mendeteksi tegangan dan arus yang mengalir dari panel surya lalu akan mengambil keputusan terhadap perubahan duty cycle yang terjadi. Sensor memiliki peran yang sangat penting dalam sistem ini. Sensor arus pada rangkaian ini menggunakan ACS 712 sensor ini bekerja dengan menggunakan Hall Effect dan mengkonversi arus yang mengalir menjadi tegangan. Bentuk dari ACS 712 dapat dilihat pada gambar 3.57



Gambar 3.27. Sensor Arus ACS 712

Sensor tegangan dibuat dengan rangkaian pembagi tegangan dengan rasio 4:1 tegangan dari panel surya akan diturunkan untuk masuk mikrokontroler. Arsitektur dari sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.58



Gambar 3.28. Rangkaian Sensor Tegangan

Berikut merupakan komponen yang digunakan dalam penelitian ini

Tabel 2.3. Komponen MPPT Fuzzy

No	Komponen	
1	Tegangan Sumber	20 V
2	Tegangan Output	12 V
3	Daya	100 W
4	Frekuensi Switching	40 Khz
5	Induktor	18 μ H
6	Kapasitor Input	1000 μ F
7	Kapasitor Output	1000 μ F
8	Mikrokontroller	Arduino Nano
9	Mosfet	IRFP 4332
10	Dioda	MUR 1560
11	Driver Mosfet	FOD 3182
12	Sensor Arus	ACS 712
13	Sensor Tegangan	Pembagi Tegangan (3k Ω & 1k Ω)
14	Beban	Resistor Geser (25 Ω)

Pengujian dari MPPT dilakukan dengan menghubungkan rangkaian langsung dengan panel surya. Dalam penelitian ini panel surya yang digunakan merupakan dua buah pael surya 50 WP dengan spesifikasi

Tabel 3.4. Spesifikasi Panel Surya

Model	Es50236-PCM
Maximum Power	50 WP
Short Circuit Current	3.25 A
Maximum Power Current	2.91 A
Open Circuit Voltage	21.75 V
Nominal Voltage	17.24 V
FF	0.710

Pengujian dilakukan memasang kedua panel surya di depan gedung AJ 101 dengan irradiansi dan suhu lingkungan yang bervariasi dikarenakan pengaruh cuaca. Pengaruh eksternal tersebut menyebabkan panel surya tidak pernah bekerja dalam daya sesai nameplate

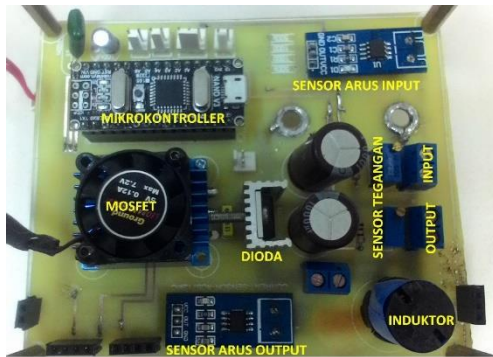


Gambar 3.29. Pengujian Panel Surya

Energi dari panel surya akan dialirkan ke MPPT yang berupa Buck converter untuk dikondisikan tegangan dan arus dari panel tersebut. Skema rangkaian pengujian dapat dilihat pada gambar 3.60 dan 3.61



Gambar 3.30. Rangkaian Pengujian



Gambar 3.31. Rangkaian Buck Converter

Sebagai beban digunakan dua buah resistor geser dengan nilai resistansi $25\ \Omega$. Nilai tersebut digunakan agar arus beban yang dapat ditopang cukup besar dan agar tidak merusak resistor geser.

Untuk mengukur irradians matahari, satu buah panel surya dihubung singkatkan untuk mengukur arus hubung singkat dari panel surya. Nilai arus hubung singkat ini akan dibandingkan dengan nilai arus hubung singkat yang tertera pada *nameplate* panel surya. Nilai yang tertera pada *nameplate* merupakan nilai arus hubung singkat pada saat irradians 1000W/m^2 dan suhu lingkungan 25 derajat celsius. Dengan membandingkan nilai hubung singkat panel dan *nameplate* akan didapat irradians pada saat pengujian. Cara ini merupakan cara pendekatan dikarenakan suhu lingkungan juga seharusnya diperhitungkan. Pada gambar 3.62 dapat dilihat panel surya yang digunakan untuk mengukur irradians matahari.



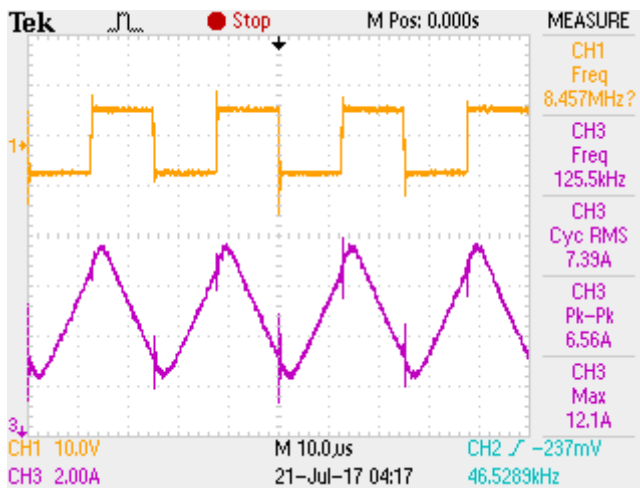
Gambar 3.32. Panel Surya Sebagai Pengukur Irradians

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1 Pengujian Rangkaian Buck Converter

Komponen switching memiliki peran yang sangat vital dalam prinsip kerja dari MPPT. Dengan switching dari Mosfet arus yang keluar dari panel surya akan diatur besarnya. Rangkaian buck converter diuji dengan menggunakan power supply laboratorium. Hasil yang didapat bisa dilihat oada gambar 4.1



Gambar 4.1. Hasil Switching pada komponen Buck Converter

Dari gambar dapat dilihat jika converter telah bekerja dengan baik dikarenakan tegangan switching pada induktor sudah membentuk gelombang pensaklaran yang baik. Dengan gelombang pensaklaran tersebut induktor dapat ter charge dan terdischarge dengan sempurna. Dari gambar dapat dilihat pada beban 7.3 Ampere induktor sudah beroperasi dalam CCM dengan frekuensi 40 kHz. Sesuai dengan desain yang telah dibuat

4.2 Pengujian Sensor

Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor arus berupa diferential amplifier dan sensor arus ACS 712

Hasil pengujian dari sensor dapat dilihat pada tabel 4.1

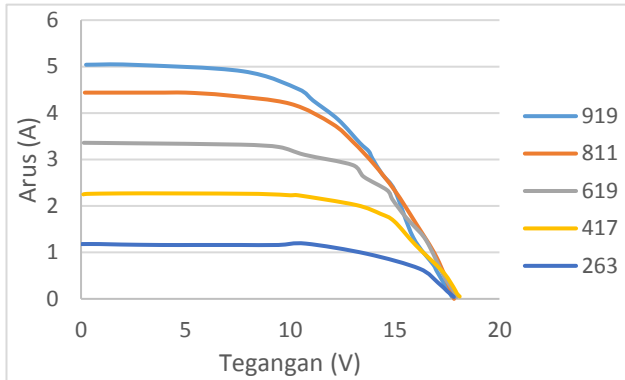
Tabel 4.1. Pengujian Sensor

Tegangan Aktual	Arus Aktual	Tegangan Sensor	Arus Sensor	Akurasi (%)	Akurasi (%)
1	0.09	0.98	0.05	98.00	55.56
2	0.28	1.98	0.25	99.00	89.29
3	0.49	2.99	0.47	99.67	95.92
4	0.7	3.99	0.69	99.75	98.58
5	0.91	5.00	0.91	100.00	100.00
6	1.12	5.99	1.14	99.84	98.22
7	1.33	6.99	1.36	99.86	97.75
8	1.55	7.99	1.58	99.88	98.07
9	1.76	8.98	1.8	99.78	97.73
10	1.98	9.99	2.03	99.90	97.48
11	2.2	10.96	2.24	99.64	98.19
12	2.43	11.99	2.49	99.92	97.54
13	2.67	13.01	2.71	99.93	98.51
14	2.89	13.99	2.94	99.93	98.27
15	3.11	15.00	3.14	100.00	99.04
16	3.36	16.12	3.38	99.25	99.41
17	3.6	16.96	3.64	99.77	98.89
18	3.84	17.9	3.82	99.45	99.48
19	4.08	18.95	4.09	99.74	99.76
20	4.29	19.92	4.31	99.60	99.54

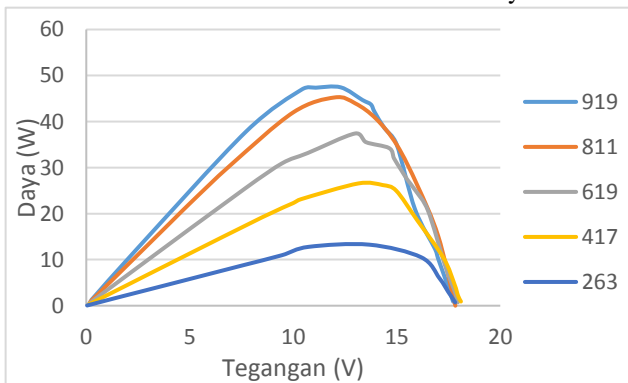
Dari tabel dapat dilihat jika rangkaian sensor memiliki perfoma yang cukup baik, sensor tegangan memiliki nilai akurasi paling rendah sebesar 98% dengan rata rata akurasi pada setiap pembebanan sebesar 99.65%. Pada sensor arus nilai akurasi paling rendah sebesar 55% dengan rata rata akurasi pada setiap pembebanan sebesar 95.54%. Dengan nilai akurasi diatas 95% sensor dianggap sudah mampu bekerja dengan baik untuk mengukur nilai arus dan tegangan pada panel surya.

4.3 Kurva Karakteristik Panel Surya

Kurva Karakteristik Panel Surya didapatkan dengan menguji panel surya dengan Iradiansi yang berbeda beda, setiap titik pada kurva didapatkan dengan memvariasikan pembebanan menggunakan resistor geser. Kurva karakteristik dari Panel Surya yang telah diuji dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3



Gambar 4.2. Kurva Karakteristik I dan V Panel Surya



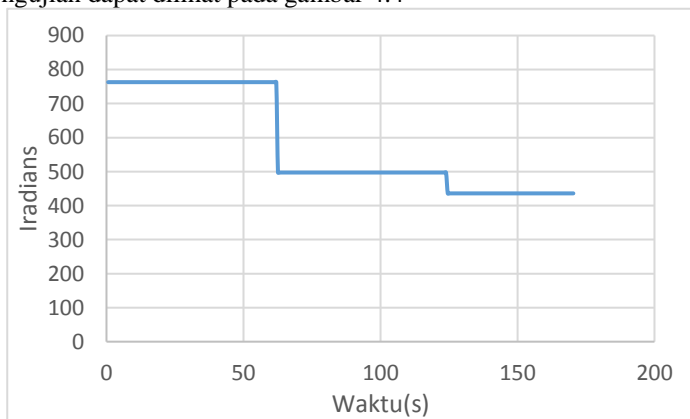
Gambar 4.3. Kurva Karakteristik P dan V Panel Surya

Dari kurva Karakteristik dapat dilihat jika daya maksimum dari panel surya tidak bisa mencapai nilai maksimum seperti yang tertera pada nameplate dikarenakan adanya pengaruh umur dari panel dan

temperatur lingkungan, pada saat pengujian diperkirakan temperatur ambient mencapai 31 derajat. Dari kurva tersebut dapat dilihat jika nilai tegangan optimal dari panel surya berbeda pada setiap irradians, pada irradians yang rendah nilai tegangan optimal memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan saat irradians tinggi. Tegangan optimal berada pada batas antara 11V hingga 15V

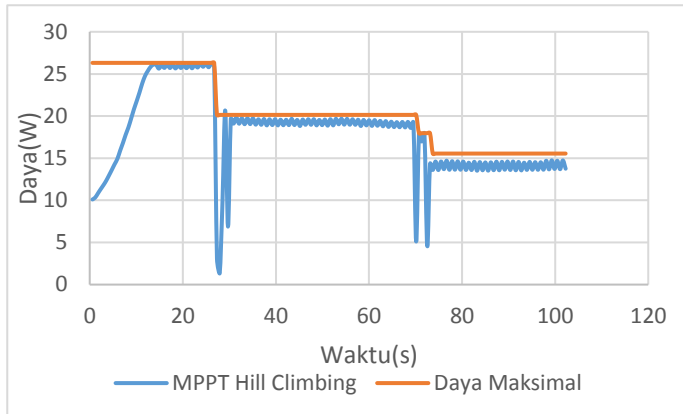
4.4 Pengujian MPPT dengan Irradians berubah

Sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan, MPPT diuji dengan irradians yang berubah ubah. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur daya panel surya pada kondisi normal, lalu panel surya ditutup dengan satu lapisan plastik secara merata untuk mengurangi irradians, lapisan plastik kedua digunakan untuk irradians yang lebih rendah lagi. Grafik perubahan irradians terhadap waktu pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 4.4



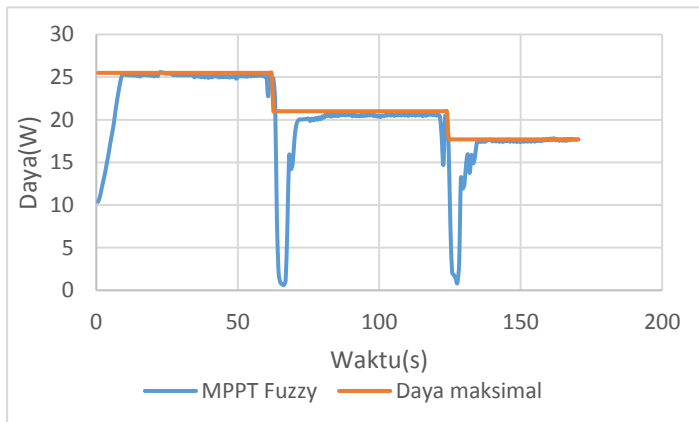
Gambar 4.4. Perubahan Irradians Pada Implementasi

Pada pengujian langsung cukup sulit membuat kedua algoritma mendapatkan perubahan irradians pada waktu yang sama sehingga perbandingan energi dilakukan terhadap daya maksimal yang bisa dicapai. Pada gambar ditunjukkan perbandingan antara kedua algoritma dengan daya maksimal.



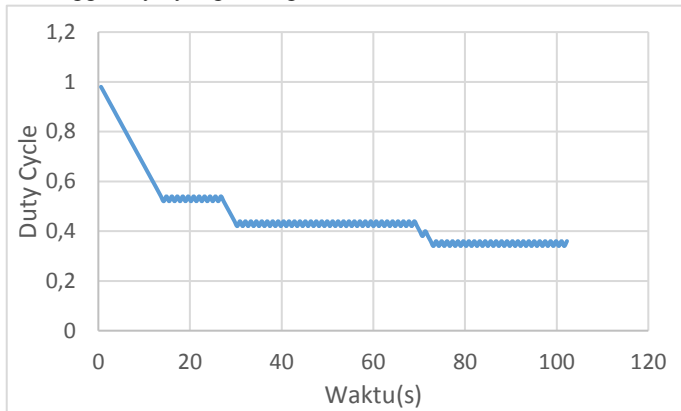
Gambar 4.5. Tracking Daya MPPT Hill Climbing

Sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan MPPT dapat melakukan tracking pada setiap iradians yang berbeda beda. Namun MPPT ini kurang efektif dalam iradians yang rendah dikarenakan osilasinya lebih besar. Dengan memperhatikan iradians dari matahari energi maksimum yang dapat dihasilkan panel surya adalah 19.42 Wh, namun dengan MPPT ini energi yang dapat dihasilkan adalah 17.85 Wh, sehingga daya yang hilang adalah sebesar 8.07%

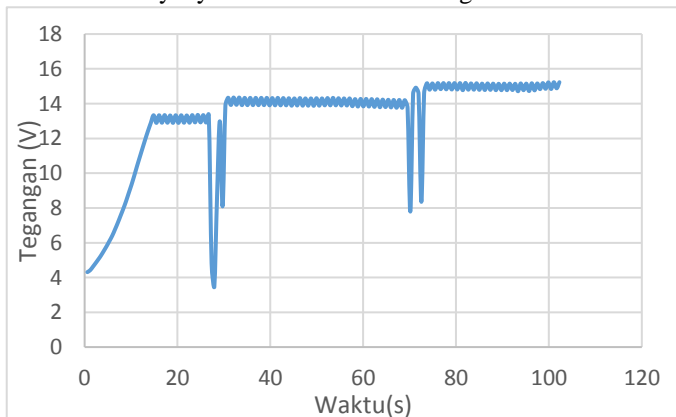


Gambar 4.6 Tracking Daya MPPT Fuzzy

Pada implementasi MPPT Fuzzy memiliki nilai daya yang lebih konstan dari hill climbing, namun responnya tidak sebaik simulasi dikarenakan respon mikrokontroler lebih lambat sehingga hal tersebut menyebabkan hilangnya daya yang cukup signifikan pada proses tracking. Energi maksimum yang dapat dihasilkan panel surya adalah 21.50 Wh, energi yang dapat dihasilkan MPPT adalah sebesar 20.122 Wh, sehingga daya yang hilang adalah sebesar 6.42%



Gambar 4.7. Duty Cycle MPPT Hill Climbing

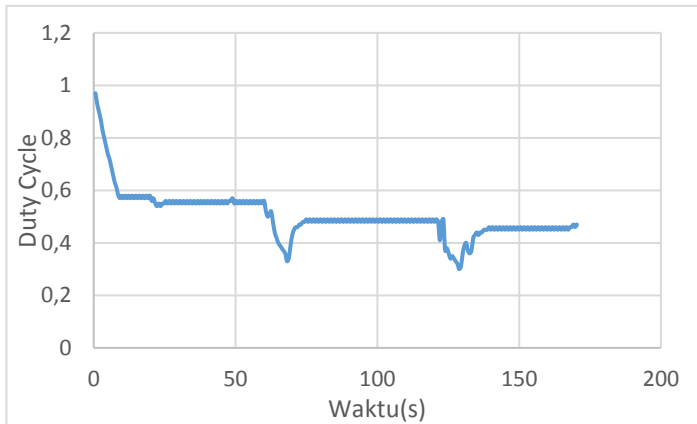


Gambar 4.8. Tegangan Panel Surya Hill Climbing

Sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan, perubahan duty cycle memegang peranan penting dalam menentukan kecepatan dan

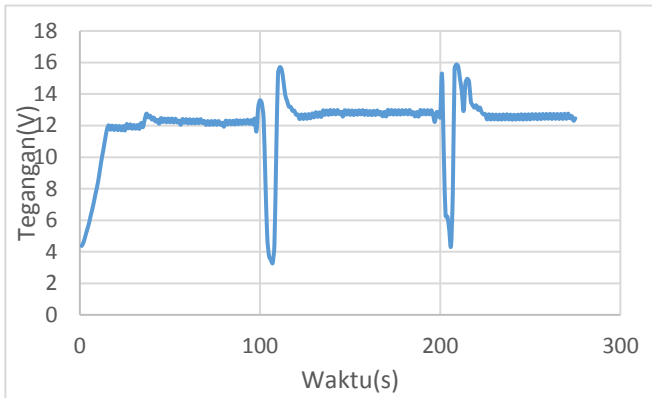
ketepatan tracking daya. Pada gambar dapat dilihat perubahan kedua duty cycle terhadap perubahan tegangan pada panel surya

Pada MPPT hill climbing respon dari duty cycle sederhana sehingga error pada saat tracking tidak terlalu besar. Dikarenakan perubahan duty cycle konstan maka daya tidak bisa terus berada di puncak melainkan berosilasi sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan. Waktu untuk mencapai steady state pada metode hill climbing juga cukup lama. Respon tegangan panel mengikuti perubahan dari duty cycle, dengan irradians yang semakin turun nilai tegangan dari panel meningkat, hal tersebut sesuai dengan kurva karakteristik yang telah didapatkan diatas. Namun dikarenakan duty cycle mengalami osilasi, maka tegangan juga tidak dapat konstan pada tegangan optimal melainkan berosilasi disekitarnya



Gambar 4.9. Duty Cycle MPPT Fuzzy

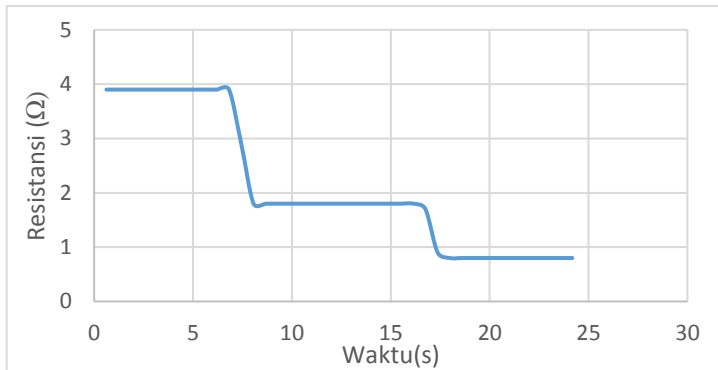
Pada MPPT Fuzzy perubahan duty cycle memiliki pola yang hampir sama, hanya saja pada MPPT Fuzzy perubahan duty cycle bervariasi, sehingga saat sistem berada pada titik operasi maksimum perubahan duty cycle sangat kecil sehingga daya yang hilang lebih kecil dari algoritma hill climbing. Respon tegangan pada MPPT Fuzzy sama seperti MPPT Hill Climbing yaitu dengan turunnya irradians nilai tegangan panel akan naik.



Gambar 4.10. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy

4.5 Pengujian MPPT dengan Perubahan Arus Beban

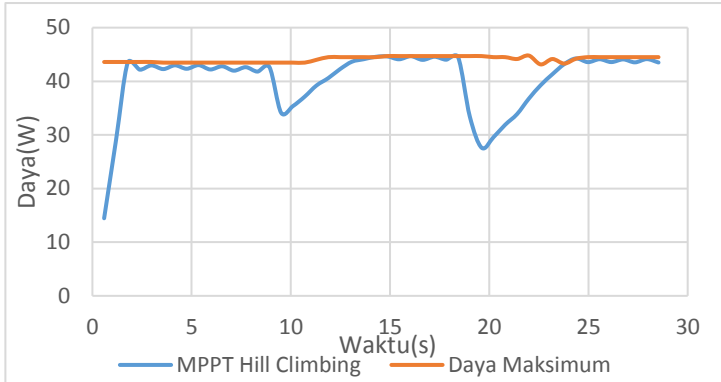
Untuk menguji perubahan arus beban pada simulasi dilakukan perubahan torsi, namun pada implementasi perubahan tersebut akan diubah menjadi perubahan resistansi beban. Perubahan resistansi dilakukan dari resistansi besar ke resistansi kecil, pola perubahan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11. Perubahan Resistansi saat Pengujian

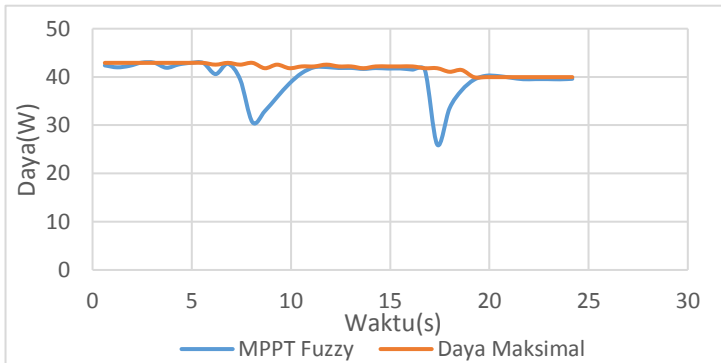
Agar mendapatkan perbandingan perubahan yang sama pada kedua algoritma perubahan resistansi dilakukan pada detik yang sama

dan irradians yang sama, namun pada kondisi lapangan terdapat beberapa ketidak idealan yang terjadi pada saat pengujian. Pada gambar merupakan perbandingan tracking daya antara metode hill climbing dan metode logika fuzzy



Gambar 4.12. Tracking Daya MPPT Hill Climbing

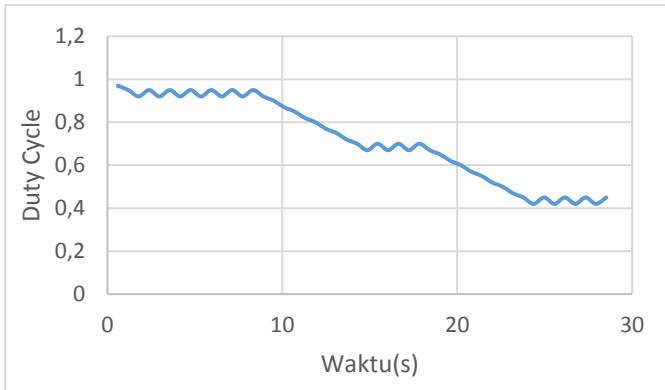
Pada metode hill climbing daya tetap mengalami osilasi pada setiap arus pembebanan, namun pada arus pembebanan kecil nilai osilasi lebih besar. Berdasarkan peninjauan irradians matahari energi maksimum yang dapat dialirkan oleh MPPT dalam satu jam adalah 44.1 1 Wh, sedangkan daya yang dapat dialirkan oleh MPPT adalah sebesar 41.14 Wh, sehingga terdapat kehilangan energi sebesar 6.73%



Gambar 4.13. Tracking Daya MPPT Fuzzy

Pada MPPT fuzzy osilasi daya yang terjadi sangat kecil, dari segi kecepatan tracking dapat dilihat jika saat terjadi perubahan resistansi, waktu yang diperlukan untuk mengembalikan daya ke daya maksimum lebih kecil dibandingkan algoritma hill climbing. Berdasarkan peninjauan iradians, energi maksimum yang dapat dialirkan oleh panel surya adalah sebesar 40.774 sedangkan energi yang dapat dialirkan MPPT Fuzzy adalah sebesar 38.906 Wh, sehingga energi yang hilang adalah sebesar 4.5%

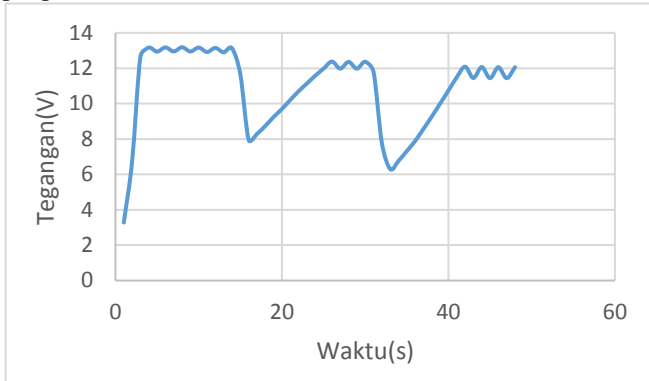
Sama seperti pada perubahan iradians penyebab perbedaan efisiensi dari kedua metode adalah pada perubahan duty cycle. Pada gambar dapat dilihat respon duty cycle dan tegangan dari kedua algoritma



Gambar 4.14. Duty Cycle MPPT hill Climbing

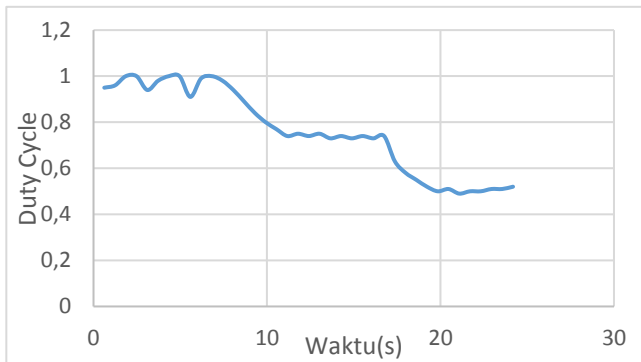
Berbeda dengan kasus perubahan iradians, pada perubahan resistansi beban nilai arus beban berubah namun titik MPP pada panel surya tidak bergeser, sehingga perlu penyesuaian rasio antara arus beban dan arus pada panel surya. Perubahan rasio ini nilainya akan semakin besar sebanding dengan besarnya perubahan arus. Pada metode hill climbing perubahan duty cycle terjadi dengan konstan sehingga butuh waktu yang cukup lama untuk dapat mengembalikan sistem ke daya maksimal, pada pengujian didapatkan untuk mencapai MPP setelah perubahan diperlukan waktu sekitar 6 detik.

Dengan perubahan arus beban tegangan pada panel surya juga akan berubah, dengan MPPT Hill Climbing tegangan panel surya akan dipertahankan pada titik MPP meskipun terdapat sedikit osilasi tegangan. Tegangan MPP sedikit berubah pada detik ke 20 dikarenakan terdapat perubahan irradians matahari

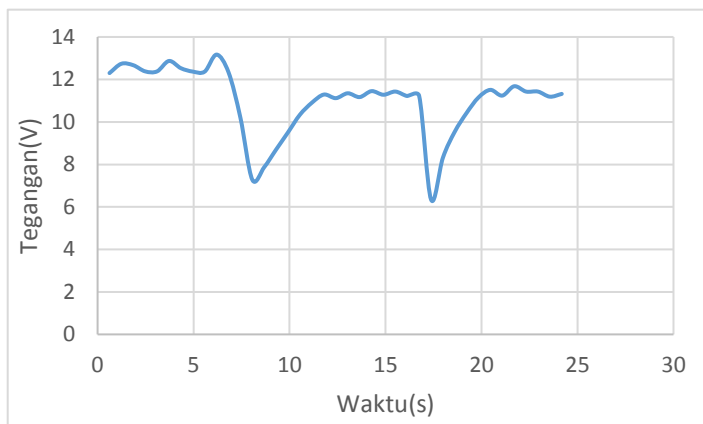


Gambar 4.15. Tegangan Panel Surya MPPT Hill Climbing

Dengan kelebihan logika fuzzy, MPPT Fuzzy dapat melakukan tracking daya dengan lebih cepat, perubahan duty cycle besar saat titik operasi berada jauh dari titik maksimum dan perubahan duty cycle kecil saat titik operasi sudah berada pada titik maksimum. Dalam pengujian MPPT Fuzzy dapat mengembalikan sistem ke daya maksimum dalam waktu 3 detik.



Gambar 4.16 Duty Cycle MPPT Fuzzy



Gambar 4.17. Tegangan Panel Surya MPPT Fuzzy

Respon tegangan pada MPPT fuzzy sama yaitu mempertahankan tegangan panel agar selalu berada pada titik MPP. Jika dibandingkan dengan respon tegangan MPPT Hill Climbing respon tegangan Hill climbing lebih konstan sehingga daya yang hilang lebih kecil.

4.6 Perbandingan Antara Simulasi Dan Implementasi

Hasil yang didapat saat implementasi dibandingkan dengan simulasi. Hasil yang didapat dapat dilihat pada tabel

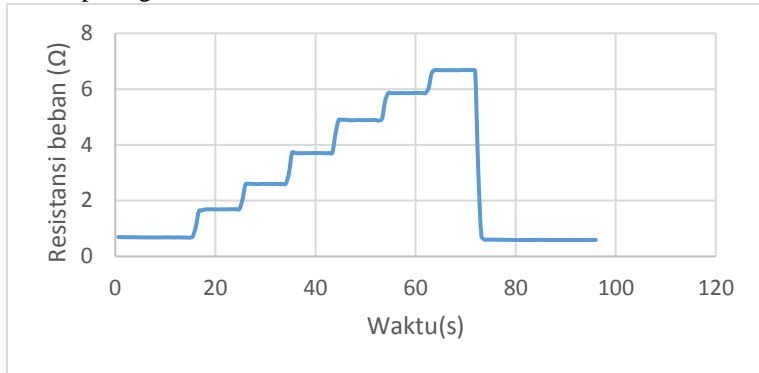
Tabel 4.2. Perbandingan Simulasi dan Implementasi

	Perubahan Iradians		Perubahan Arus Beban	
	Hill Climbing	Fuzzy	Hill Climbing	Fuzzy
Simulasi	97.71	98.80%	94.98%	95.28%
Implementasi	91.95%	93.57%	93.26%	95.42%

Nilai efisiensi pada simulasi perubahan arus beban lebih kecil dari implementasi dikarenakan pada simulasi beban merupakan motor BLDC sedangkan pada implementasi hanya menggunakan beban resistif. Namun tetap dapat dilihat Dari tabel jika simulasi dan implementasi membuktikan jika MPPT Fuzzy memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari algoritma hill climbing baik pada iradians yang berubah ubah maupun pada arus beban yang berubah ubah.

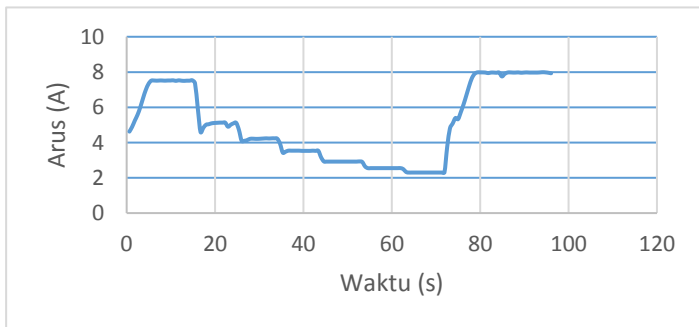
4.7 Respon MPPT Terhadap Berbagai Resistansi Beban

Pada sub bab sebelumnya dibandingkan respon kedua MPPT terhadap perubahan beban dengan rentang berubahnya yang tidak terlalu besar, pada sub bab ini akan dianalisa pengaruh berbagai resistansi terhadap performa MPPT. Grafik perubahan resistansi beban dapat dilihat pada gambar 4.18



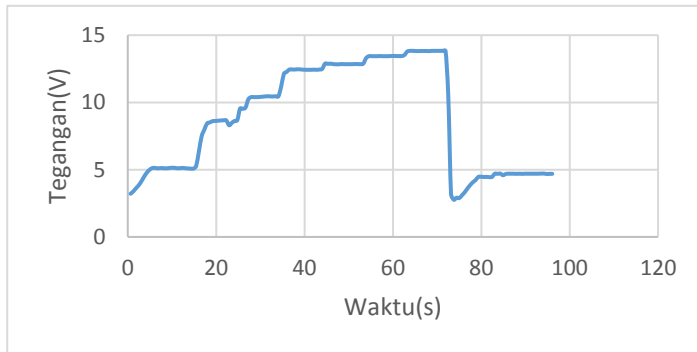
Gambar 4.18. Perubahan Resistansi Beban

Dengan perubahan resistansi beban, maka nilai arus yang mengalir ke beban juga berubah berbanding terbalik dengan perubahan resistansi, pada pengujian nilai arus bermula dari 7 ampere dan seiring bertambahnya resistansi beban besarnya arus akan semakin berkurang. Respon beban terhadap perubahan resistansi dapat dilihat pada gambar 4.19



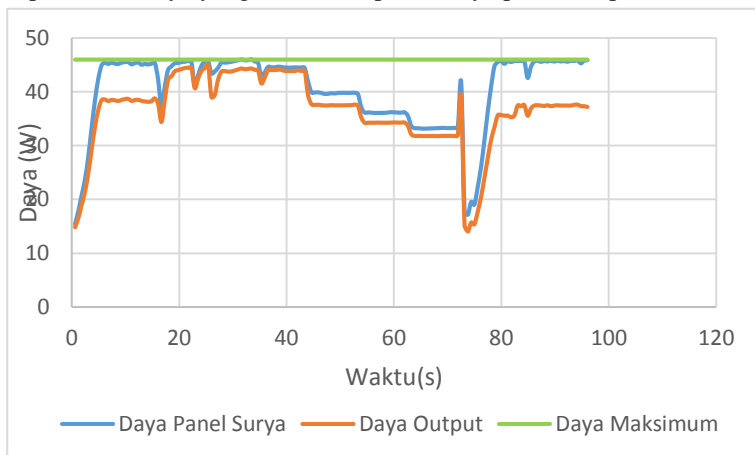
Gambar 4.19. Perubahan Arus Beban

Panel surya merupakan sumber arus, sehingga tegangan beban bergantung pada arus beban. Tegangan beban dapat dilihat pada gambar 4.20



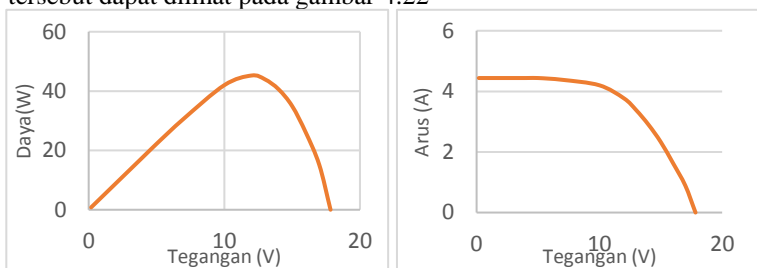
Gambar 4.20. Perubahan Tegangan Beban

Dengan irradians yang tetap, maka panel surya akan menghasilkan daya yang konstan, resistansi beban hanya akan memperngaruhi besarnya arus dan tegangan yang mengalir ke beban, dengan syarat arus dan tegangan panel surya dijaga tetap berada pada MPP. Pada gambar dapat dilihat daya yang dihasilkan panel surya pada setiap resistansi.



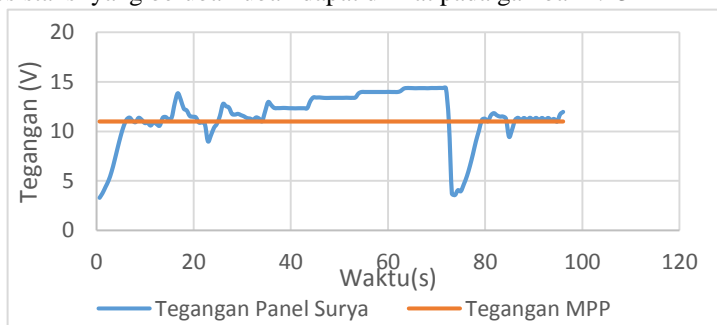
Gambar 4.21. Grafik Daya MPPT pada setiap Resistansi

Dari gambar dapat dilihat jika terdapat perbedaan yang cukup besar pada nilai daya panel dan daya output, hal tersebut dikarenakan pada duty cycle yang rendah konverter memiliki efisiensi yang rendah pula. Selain itu tidak semua nilai resistansi beban memiliki nilai daya maksimal meskipun sudah menggunakan MPPT, pada resistansi 4Ω hingga 7Ω daya keluaran panel surya mengalami penurunan. Hal tersebut dikarenakan MPPT yang digunakan merupakan MPPT Buck. Untuk menjelaskan hal ini maka perlu diperhatikan terlebih dahulu kurva karakteristik dari iradians yang terkait. Pada pengujian iradians diperkirakan mencapai 800 W/m^2 . Kurva karakteristik pada iradians tersebut dapat dilihat pada gambar 4.22



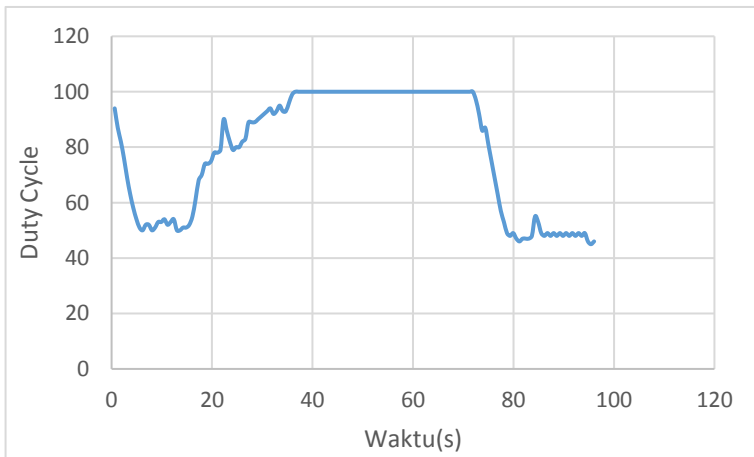
Gambar 4.22. Kurva Karakteristik iradians 800 W/m^2

Dari kurva karakteristik dapat dilihat jika sistem dapat mencapai daya maksimum pada tegangan sekitar 11.5 V dan arus panel 4A, ketika kedua nilai tersebut tidak tercapai maka panel tidak akan mencapai daya maksimum. Tegangan panel surya pada saat pengujian dengan resistansi yang berubah ubah dapat dilihat pada gambar 4.23



Gambar 4.23. Perubahan tegangan Panel Surya

Dari gambar 4.23 dapat dilihat tegangan panel surya berada pada titik MPP pada pembebanan 1Ω hingga 3Ω namun pada pembebanan setelahnya nilai tegangan panel surya berada di atas titik MPP, ketika tegangan panel surya berada diatas titik MPP, maka arus panel surya akan turun dengan signifikan sehingga daya panel surya akan menurun. Pada pembebanan diatas 3Ω tegangan panel surya mengalami peningkatan dikarenakan karaktersitik dari konverter buck dan panel surya. Konverter buck memiliki karaktersitik arus output akan lebih besar atau sama dengan arus input. Ketika arus output lebih besar dari arus MPP maka duty cycle dari converter akan turun, saat arus output hampir menyamai arus MPP nilai duty cycle akan mendekati 100%, sedangkan saat arus output kurang dari arus MPP duty cycle dari converter tidak bisa mengkondisikan arus panel hingga mencapai titik optimal. Perubahan duty cycle pada MPPT pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.24. Perubahan Duty Cycle Pada Setiap Resistansi

Pada saat beban 1Ω duty cyle dari converter berkisar 50% dikarenakan nilai arus beban bernilai 8A nilai duty cycle tersebut terus naik seiring dengan menurunnya arus beban. Pada pembebanan 4Ω arus yang mengalir ke beban kurang dari 4A sedangkan duty cycle dari converter sudah mencapai 100% kondisi tersebut menyebabkan arus panel surya bergeser dari MPP sehingga daya dari panel surya semakin

turun seiring berkurangnya arus beban. Daya kembali naik ketika beban dikembalikan ke 1Ω . Untuk mengatasi masalah tersebut perlu digunakan MPPT Buck Boost, sehingga meskipun nilai arus beban lebih kecil dari arus MPP daya tetap maksimum, namun pada aplikasi panel surya beban menyerap arus yang cukup besar dan panel surya juga digunakan untuk *charging* baterai, arus yang keluar dari MPPT akan selalu lebih besar dari arus MPP Panel surya sehingga untuk aplikasi pesawat tanpa awak bertenaga surya MPPT buck sudah cukup untuk menjaga daya selalu maksimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. MPPT dengan Kontrol Logika Fuzzy memiliki efisiensi daya yang lebih tinggi baik pada irradians yang berubah maupun arus beban berubah
2. MPPT dengan Kontrol Logika Fuzzy memiliki efisiensi yang lebih tinggi pada kondisi arus beban berubah daripada kondisi perubahan irradians
3. MPPT akan mengoptimalkan daya di setiap pembebanan hingga arus beban lebih kecil dari arus MPP Panel Surya

Saran.

1. Untuk Meningkatkan stabilitas dan kecepatan tracking perlu Fuzzy logic dapat dikolaborasikan dengan Lookup Table pada berbagai irradians
2. Untuk meningkatkan keandalan perlu ditambahkan algoritma untuk mengatasi *partial shading*
3. Perlu dilakukan pengujian dengan dua alat secara sekaligus agar didapatkan nilai daya yang benar benar sama
4. Untuk aplikasi pada pesawat terbang rangkaian lebih baik menggunakan SMD agar berat komponen lebih ringan

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Diab-Marzouk, "SiC-Based Bidirectional Cuk Converter With Differential Power Processing and MPPT for a Solar Powered Aircraft," *IEEE Transaction On Transportation Electrification*, vol. 1, no. 4, pp. 369-381, 2015.
- [2] A. E. Khateb, "Fuzzy-Logic-Controller-Based SEPIC Converter for Maximum Power Point Tracking," *IEEE Transactions On Industry Applications*, vol. 50, no. 4, pp. 2349-2358, 2014.
- [3] G. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, Canada: John Wiley & Sons, 2004.
- [4] M. Gradella, J. R. Gazoli dan E. R. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, 2009.
- [5] S. Weixiang, "Development of a Mathematical Model for Solar Module in Photovoltaics Systems," dalam *6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2011.
- [6] Krismadinata, N. Abd. Rahim, H. Wooi Ping dan J. Selvaraj, "Photovoltaic module modeling using simulink/matlab," dalam *The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Security*, 2012.
- [7] T. Markvart, *Practical Handbook of Photovoltaic, Fundamental and Application*, Oxford: Elsevier, 2003.
- [8] G. Masters, *Renewable and Effective Power System*, New Jersey: John Wiley and Sons, 2004.
- [9] T. Kerekes, *MPPT Algorithm for Voltage Controlled PV Inverter Maximum Power Point Tracking Controlled for PV System Using Pi Regulator*, 2008.
- [10] N. V.P, "Fuzzy Logic Based Hill Climbing Method For Maximum Power Point Tracking In PV System," dalam *International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC)*, 2013.

- [11] A. Nasr, M. H. Saied dan M. Mostafa Z., "A Survey of Maximum PPT techniques of PV Systems," dalam *Energytech, 2012 IEEE*, Cleveland, 2012.
- [12] T. L. Kottas, "New Maximum Power Point Tracker for PV Arrays Using Fuzzy Controller in Close Cooperation With Fuzzy Cognitive Networks," *IEEE Transactions On Energy Conversion*, vol. 21, no. 3, pp. 793-803, 2006.

LAMPIRAN

Berikut list program yang digunakan pada percobaan
MPPT Fuzzy Logic

```
#define vsi A0
#define csi A1
#define vso A2
#define cso A3
#define css A6
#define prescaler 13.0
#define offset 510.0

float duty=100;
int iter = 1000,i=0;
float W1=20.0;
float W2=20.0;
float Z=25.0;
float Pin =0.0,
dP=0.0,dI=0.0,Pbef=0.0,Vbef=0.0,Ebef=0.0,Def=0.0;
float runtime=0.0, deltime=0.0;
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    pinMode(9,OUTPUT);
    pinMode(csi,INPUT);
    pinMode(vsi,INPUT);
    pinMode(cso,INPUT);
    pinMode(vso,INPUT);
    pinMode(css,INPUT);
    //phase and Frequency Correct PWM
    TCCR1A = _BV(COM1A1)|_BV(COM1B1);
    TCCR1B = _BV(WGM13)|_BV(CS10);
    ICR1 = 200;
```

```
OCR1A=ICR1*duty/100;
}
```

```
void loop() {
    // input sensing
    unsigned long waktu_mulai = micros();
    float vc=0.0,Iin=0.0,
    sample=0.0,Iavg=0.0,Iread=0.0,Vin=0.0
    ,vsample=0.0,Vavg=0.0,Vread=0.0, Ioffset=0.0,Io=0.0,
    sampleo=0.0,Iavg=0.0,Ireado=0.0,Vo=0.0
    ,vsampleo=0.0,Vavg=0.0,Vreado=0.0,
    Ioffseto=0.0,Is=0.0, samples=0.0,Iavgs=0.0,Ireads=0.0;
    for (int x=0;x<iter;x++){//100 sampel data

        Vin= analogRead(vsi);
        Iin= analogRead(csi);
        Vo= analogRead(vso);
        Io= analogRead(cso);
        Is=analogRead(css);
        vsample = vsample + Vin;
        sample = sample+Iin;
        vsampleo = vsampleo + Vo;
        sampleo = sampleo+Io;
        samples = samples+Is;
        //delayMicroseconds(100); //frekuensi sistem 40 k periode
        25 us
    }
}
```

```
Iavg=sample/iter;
Vavg = vsample/iter;
Iavg=sampleo/iter;
Vavg = vsampleo/iter;
```

Iavg=samples/iter;

Vread= Vavg*25/1023.0;

Vreado= Vavg*25/1023.0;

Ioffset=Iavg;

Iread = ((Iavg*(5.0/1023.0))-
offset*5.0/1023.0)/(prescaler*5.0/1023.0);

Ireado = ((Iavg*(5.0/1023.0))-2.50)/(21.0*5.0/1023.0);

Ireads= ((Iavg*(5.0/1023.0))-
510.0*5.0/1023.0)/(14.0*5.0/1023.0);

Pin= Vread*Iread;

dP=(Pin-Pbef)/(Vread-Vbef);

vc=Vread-Vbef;

dI= dP-Ebef;

//Fuzzification

float

dP1=0.0,dP2=0.0,dP3=0.0,dP4=0.0,dP5=0.0,dI1=0.0,dI2=
0.0,dI3=0.0,dI4=0.0,dI5=0.0,D1=0.0,D2=0.0,D3=0.0,D4=
0.0,D5=0.0,D6=0.0,D7=0.0,D8=0.0,D9=0.0,D10=0.0,D11
=0.0,D12=0.0,D13=0.0,D14=0.0,D15=0.0,D16=0.0,D17=
0.0,D18=0.0,D19=0.0,D20=0.0,D21=0.0,D22=0.0,D23=0.
0,D24=0.0,D25=0.0;

//Input Limitation

if (dP>W1){

 dP=W1;

}

if (dP<-W1){

 dP=-W1;

```

}
if (dI>W2){
    dI=W2;
}
if (dI<-W2){
    dI=-W2;
}
//input1
if (dP>=-W1 && dP<-W1/2){
    dP1=-2*dP/W1-1;
    dP2=2*dP/W1+2;
}
if (dP>=-W1/2 && dP<0){
    dP2=-2*dP/W1;
    dP3=2*dP/W1+1;
}
if (dP>=0 && dP<W1/2){
    dP3=-2*dP/W1+1;
    dP4=2*dP/W1;
}
if (dP>=W1/2 && dP<=W1){
    dP4=-2*dP/W1+2;
    dP5=2*dP/W1-1;
}
//input2
if (dI>=-W2 && dI<-W2/2){
    dI1=-2*dI/W2-1;
    dI2=2*dI/W2+2;
}
if (dI>=-W2/2 && dI<0){
    dI2=-2*dI/W2;
    dI3=2*dI/W2+1;
}

```

```

}
if (dI>=0 && dI<W2/2){
    dI3=-2*dI/W2+1;
    dI4=2*dI/W2;
}
if (dI>=W2/2 && dI<=W2){
    dI4=-2*dI/W2+2;
    dI5=2*dI/W2-1;
}
//Implication
//NB
D1= dP5*dI5;
D2= dP5*dI4;
D3= dP5*dI3;
D22= dP5*dI1;
D23= dP5*dI2;

//NS
D4= dP4*dI5;
D5= dP4*dI4;
D6= dP4*dI3;
D25= dP3*dI5;
//PS
D7= dP2*dI3;
D8= dP2*dI2;
D9= dP2*dI1;
D24= dP3*dI1;
D13= dP1*dI4;
D14= dP1*dI5;
//PB
D10= dP1*dI3;
D11= dP1*dI2;

```

D12= dP1*dI1;

//Z

D13= dP1*dI4;

D14= dP1*dI5;

D15= dP2*dI4;

D16= dP2*dI5;

D17= dP3*dI2;

D18= dP3*dI3;

D19= dP3*dI4;

D20= dP4*dI1;

D21= dP4*dI2;

//Defuzzification

//Center of Gravity Method

Def= (-Z*(D1+D2+D3+D22+D23)-

Z/2*(D4+D5+D6+D25)+Z/2*(D7+D8+D9+D24+D13+D14)+Z*(D10+D11+D12))/(D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8+D9+D10+D11+D12+D13+D14+D15+D16+D17+D18+D19+D20+D21+D22+D23+D24+D25);

if (Def>=10 && vc<0.5&&vc>-0.05&&i>10){

Def= -1;

}

if (Def<=10 && vc<0.5&&vc>-0.05&&i>10){

Def= +1;

}

OCR1A= OCR1A+Def/100*ICR1;

if (OCR1A>ICR1){

OCR1A=ICR1;

}


```

if (OCR1A<1){
    OCR1A=1;
}
i=i+1;
unsigned long waktu_berhenti = micros();
delttime=(waktu_berhenti-waktu_mulai)/1000000.0;
runtime= runtime+delttime;
Serial.print(runtime);
Serial.print(" V= ");
Serial.print(Vread);
Serial.print(" ");
Serial.print("I= ");
Serial.print(Iread);
Serial.print(" ");
Serial.print("P= ");
Serial.print(Pin);
Serial.print(" ");
Serial.print(dP);
Serial.print(" ");
Serial.print(dI);
Serial.print(" vc= ");
Serial.print(vc);
Serial.print(" ");
Serial.print(Def);
Serial.print(" ");
Serial.print(OCR1A*100/ICR1);
Serial.print(" Vo= ");
Serial.print(Vreado);
Serial.print(" Io= ");
Serial.print(Ireado);
Serial.print(" Isc= ");
Serial.println(Ireads);

```

```
Pbef= Pin;  
Vbef= Vread;  
Ebef=dP;  
  
}
```

BIOGRAFI



Fahad Al Hazmi, biasa dipanggil Fahad, lahir di Bekasi Pada 10 Februari 1995. Besar di Bojong Gede, sebuah desa di Kabupaten Bogor. Selama 12 tahun menggunakan Kereta sebagai kendaraan Utamanya. Bersekolah di SDN Polisi 4 Bogor, SMPN 1 Bogor, SMAN 1 Bogor, dan saat kuliah merantau ke belahan timur pulau jawa ke Teknik Elektro ITS karena ingin berpetualang. Memiliki hobi bela diri dan sekarang berkulat di Silat Perisai Diri. Memiliki Motto lakukan apa yang harus kau lakukan. Sangat berminat pada Bidang studi Tenaga Listrik dan bercita cita ingin membuat Renewable Technology yang baru.